Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Академия технологических наук Украины
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины
Киевский национальный университет технологий и дизайна
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
ООО «НПП РЕММАШ»
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК»
ДП «БЕСТ-БИЗНЕС»
ПАО «Ильницкий завод механического сварочного оборудования»
Ассоциация инженеров-трибологов России
Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН
Брянский государственный технический университет
ГНПО «Центр» НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет
Машиностроительный факультет Белградского университета
Издательство «Инновационное машиностроение»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 17-го Международного научно-технического семинара
(20–24 февраля 2017 г., г. Свалява, Карпаты)

Киев – 2017

Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Материалы 17-го Международного научно-технического семинара, 20–24 февраля 2017 г., г. Свалява. – Киев : АТМ Украины, 2017. – 312 с.

Тематика семинара:

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки поверхностей трения и деталей машин
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий
- Технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2017 г.

Абдуллаева М.А., Жалилов Л.С. Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС

Основу жизни человека составляет окружающая природная среда, а основу современной цивилизации – ископаемые природные ресурсы и вырабатываемая из них энергия. Очевидно, что без энергетики у человечества нет будущего. Но с другой стороны, энергетика оказывает мощное отрицательное воздействие на окружающую среду, ухудшая условия жизни людей. Основу энергетики составляют различные типы электростанций. Почти 70 лет назад при развитии отечественной индустрии ставку сделали на крупные ТЭС. Однако в то время мало кто задумывался о последствиях влияния ТЭС на природу, т.к. первостепенной задачей было получение электрической энергии и тепла. Технология производства электроэнергии на ТЭС с использованием органических топлив связана с превращением практически всех затраченных материальных ресурсов и большей части энергии топлива в отходы, выбрасываемые в окружающую среду. На современном этапе проблема взаимодействия энергетики и окружающей среды приобрела новые черты, распространяя влияние на огромные территории, большинство рек и озер, громадные объемы атмосферы и гидросферы Земли. Еще более значительные масштабы энергопотребления в обозримом будущем предопределяют дальнейшее интенсивное увеличение разнообразных воздействий на все компоненты окружающей среды в глобальных масштабах. Ранее при выборе способов получения электрической и тепловой энергии, путей комплексного решения проблем энергетики, водного хозяйства, транспорта, назначении основных параметров объектов (тип и мощность станции, объем водохранилища и др.) руководствовались в первую очередь минимизацией экономических затрат. В настоящее же время на первый план все более выдвигаются вопросы оценки возможных последствий возведения и эксплуатации объектов энергетики.

ТЭС работают на органическом топливе, в качестве которого используют сравнительно дешевые уголь и мазут. Эти виды топлива – невосполнимые природные ресурсы. Основные энергетические ресурсы в мире сегодня: уголь (40%), нефть (27%), газ (21%). Однако этих запасов, по некоторым оценкам, хватит, соответственно, на

270, 50 и 70 лет, и это при условии, что человечество будет расходовать их с той же скоростью, что и сегодня.

Сжигание топлива на ТЭС связано с образованием продуктов сгорания, содержащих летучую золу, частицы недогоревшего пылевидного топлива, сернистый и серный ангидрид, оксиды азота и газообразные продукты неполного сгорания, а при сжигании мазута, кроме того, соединения ванадия, соли натрия, кокс и частицы сажи. В золе некоторых топлив имеется мышьяк, свободный диоксид кремния, свободный оксид кальция и др.

Одним из факторов воздействия угольных ТЭС на окружающую среду являются выбросы систем складирования топлива, его транспортировки, пылеприготовления и золоудаления. При транспортировке и складировании возможно не только пылевое загрязнение, но и выделение продуктов окисления топлива. Для золошлакоотвалов требуются значительные территории, которые долгое время не используются, и являются очагами накопления тяжелых металлов и повышенной радиоактивности, которые воздушным путем или же с водой попадают в биосферу.

Кроме того, происходит значительное тепловое загрязнение водоемов при сбрасывании в них теплой воды, что сопутствует цепным природным реакциям: зарастанию водоемов водорослями, нарушению кислородного баланса, что создает угрозу для жизни обитателей рек и озер.

Основными факторами воздействия ТЭС на гидросферу являются выбросы теплоты, следствием которых могут быть: постоянное локальное повышение температуры в водоеме; временное повышение температуры; изменение условий ледостава, зимнего гидрологического режима; изменение условий паводков; изменение распределения осадков, испарений, туманов.

Загрязняющие примеси выбросов электростанций воздействуют на биосферу района расположения предприятия, подвергаются различным превращениям и взаимодействиям, а также осаждаются, вымываются атмосферными осадками, поступают в почву и водоемы. Кроме основных компонентов, образующихся в результате сжигания органического топлива (углекислого газа и воды), выбросы ТЭС содержат пылевые частицы различного состава, оксиды серы, оксиды азота, фтористые соединения, оксиды металлов, газообразные продукты неполного сгорания топлива. Их поступление в воздушную среду наносит большой ущерб, как всем основным компонентам биосферы, так и предприятиям, объектам городского хо-

зяйства, транспорту и населению городов. Наличие пылевых частиц, оксидов серы обусловлено содержанием в топливе минеральных примесей, а наличие оксидов азота – частичным окислением азота воздуха в высокотемпературном пламени.

Наиболее высокой биологической активностью обладает диоксид азота), который оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и слизистую оболочку глаза. Также большую экологическую опасность для человека представляют тяжелые металлы. Попадая в организм в больших количествах, в течение короткого времени они могут вызвать острое отравление. В выбросах угольных ТЭС содержатся также окислы кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз.

Воздействие на животный и растительный мир оказывает загрязнение атмосферы окисью серы, которая разрушает хлорофилл растений, может привести к повреждениям листьев и хвои. Воздействие окиси углерода на человека и животных состоит в том, что она, соединяясь с гемоглобином крови, очень быстро лишает организм кислорода и приводит к нарушению нервной системы. Оксиды азота снижают прозрачность атмосферы и способствуют образованию смога. Токсичностью отличается пентаксид ванадия, входящий в состав золы мазута. Это вещество вызывает раздражение дыхательных путей у человека и животных, расстройство кровообращения и нервной системы, а также нарушение обмена веществ.

Бенз(а)пирен – своеобразный канцероген, который способен вызывать онкологические заболевания. Поэтому проектирование и сооружение электростанций ведутся с соблюдением требований по предельно допустимым концентрациям основных выбросов, загрязняющих атмосферу отходящими газами предприятий в атмосферном воздухе на уровне дыхания человека [1].

Рассмотрим наименование и количество загрязняющих веществ выбрасываемых от котла типа АОА–100 кВт (рис. 1), которыми снабжена котельная Ферганского

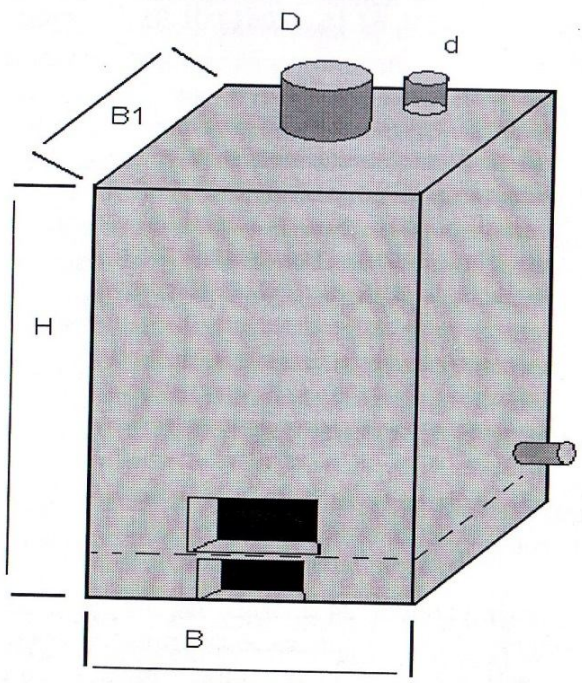


Рисунок 1 – Котел АОА–100 Квт

политехнического института. Загрязняющими веществами являются зола, окись углерода, двуокись азота, двуокись серы.

Основное производство – Котельная (рис. 2).

Рисунок 2 – Общий вид котлов

Источник № 1. Организованные выбросы продуктов сжигания газа через дымовую трубу (двуокись азота, окись углерода, зола мазута, двуокись серы). Котельная снабжена котлом водогрейным АОА-100 мГв – 3 шт (1 резервный).

Дымовая труба, ее параметры: W = 1,5 м/с, B = 716 мм р.с., t = 96 ^{o}C, диаметр трубы d = 0,30 м, высота h = 6 м. Отопительный период с 15 октября по 15 марта. Время работы 3600 ч/год. Расход газа на 1 котел составляет – 8 м^3/час, согласно паспорта для данных типов котлов, B = 8×24×150 = 28800 м^3/год, 28,8 т/год.

Работают два котла ΣВ = 28800×2 м^3/год = 57600 м^3/год. = 57,6 т/год.

Резервное топливо – уголь. Расход 15 кг/час согласно паспорта, в год ΣВ = 2×15×24×150 = 108000 кг/год = 108 т/год.

Вспомогательное производство:

Помещение для хранения топлива – угля.

Источник № 2. Помещение для хранения топлива – угля. Расход 108 т/год, на крыше склада будет уставлен дефлектор d = 0,5 м, высотой 4 м.

Расчеты от основного производства:

Котельная. Источник № 1. Организованные выбросы продуктов сжигания газа через дымовую трубу котлоагрегата. Выбросы окислов углерода, окислов азота, окислов серы, золы печного топлива в пересчете на пяти окись ванадия. В котельной находится три водогрейных газовых котлов марки ТГ-3-95 – 3 шт. (1 резервный), тепло производительностью 2,5 гкал/час. Топливо – природный газ. Рас-

ход газа по нормативам составляет 8 м^3/час, расход угля – 15 кг/час. Отопительный период с 15 октября по 15 марта.

Расход газ в год: $B = 8\times24\times150 = 28800$ м^3/год, 28,8 т/год. работают два котла $\Sigma B = 28800\times2$ м^3/год = 57600 м^3/год. = 57,6 т/год.

Резервное топливо – расход угля в год: $\Sigma B = 2\times15\times24\times150 = 108000$ кг/год = 108 т/год

Параметры источника: $h = 6$ м, $d = 0{,}30$ м, $B = 709$ мм р.с. $t = 190$ ^{o}C, Время работы $150\times24 = 3600$ ч/год.

Расчеты – работа на газе [2,3].

Объемная скорость:

$$V = [(3{,}14\times0{,}3^2)\times1{,}5]:4 = 0{,}106 \text{ м}^3/\text{с}$$

а) выбросы окиси углерода:

$$\text{Мт/г} = 0{,}001 \times 8{,}275 \times 57{,}6\times(1 - 0{,}5/100) = 0{,}4743 \text{ т/год.}$$

$$\text{Ссо} = 0{,}5 \times 0{,}5 \times 33{,}1 = 8{,}275 \text{ мдж/кг}$$

$$\text{Мг/с} = 0{,}4743/3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3} = 0{,}4743/12{,}96 = 0{,}0366 \text{ г/с}$$

$$Q = (0{,}0366/0{,}106)\times10^3 = 345{,}28 \text{ мг/м}^3.$$

б) выбросы окислов азота (в перерасчете на двуокись азота):

$$\text{Мт/г} = 0{,}001 \times 57{,}6 \times 33{,}1 \times 0{,}09\ (1 - 0) = 0{,}1716 \text{ т/год}$$

$$\text{Мг/с} = 0{,}1716/3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3} = 0{,}1716/12{,}96 = 0{,}0132 \text{ г/с}$$

$$Q = (0{,}0132/0{,}106)\times10^3 = 124{,}5 \text{ мг/м}^3.$$

Перечень вредных веществ, поступающих в атмосферу при сжигании газа от котла, приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Перечень вредных веществ, поступающих в атмосферу при сжигании газа (источник № 1)

Наименование ингредиента	ПДК$_{max}$ разовая, мг/м^3	Класс опасности	Ожидаемые выбросы, г/с	Ожидаемые выбросы, т/год
Окись углерода	5,0	4	0,0366	0,4743
Двуокись азота	0,085	2	0,0132	0,1716
Итого:			0,0498	0,6459

Расчеты для резервного топлива – расчеты на угле.

Организованные выбросы через дымовую трубу будет выбрасываться продукты сжигания угля согласно ТУ.

Резервное топливо – расход угля в год: $\Sigma B = 2\times15\times24\times150 = 108000$ кг/год = 108 т/год (Ангренский уголь).

Параметры источника: $h = 6$ м, $d = 0{,}30$ м., $B = 709$ мм. р.с. $t = 190$ ^{o}C, Время работы $150\times24 = 3600$ часов/год. металлический газоход, с дефлектором, $t = 87^o$ C, $W = 1{,}5$ м/с, $B = 710$ мм. рт. ст.

$$V = [(3{,}14 \times 0{,}3^2) \times 1{,}5] : 4 = 0{,}106 \text{ м}^3/\text{с}$$

а) Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и не догоревшего топлива (для твердого).

$$M\text{тв.} = B \times A^{\text{ч}} \times f \times (1\text{-}\eta_з), \text{ [т/год, г/сек.]}$$

$$M\text{тв.} = 108 \times 13{,}1 \times 0{,}0035 \times (1\text{-}0{,}5) = 2{,}4759 \text{ т/год}$$

$$M\text{тв.} = 2{,}4759/(3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3}) = 2{,}4759/12{,}96 = 0{,}191 \text{ г/сек}$$

$$Q = (0{,}191/0{,}106) \times 10^3 = 1801{,}8 \text{ мг/м}^3.$$

б) Выбросы окиси углерода:

$$M_{CO} = 0{,}001 \times 3{,}25 \times 108 \times (1 - 0{,}5/100) = 0{,}3492 \text{ т/год.}$$

$$C_{CO} = 0{,}5 \times 1 \times 6{,}5 = 3{,}25 \text{ кг/т.}$$

$$M_{CO} = 0{,}3492/(3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3}) = 0{,}3492/12{,}96 = 0{,}0269 \text{ г/сек}$$

$$Q = (,026/0{,}106) \times 10^3 = 253{,}77 \text{ мг/м}^3.$$

в) Выбросы окислов азота (в перерасчете на двуокись азота):

$$M_{NO2} = 0{,}001 \times 108 \times 13{,}81 \times 0{,}12\ (1 - 0) = 0{,}179 \text{ т/год}$$

$$M_{NO2} = 0{,}179/3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3} = 0{,}179/12{,}96 = 0{,}0138 \text{ г/сек}$$

$$Q = (,0138/0{,}106) \times 10^3 = 130{,}19 \text{ мг/м3.}$$

г) Расчет выбросов окислов серы.

$$M_{SO2} = 0{,}02 \times B \times S^{\text{ч}} \times (1\text{-}\eta'_{so4}) \times (1\text{-}\eta''_{so4}) \text{ т/год, г/сек}$$

$$M_{SO2} = 0{,}02 \times 108 \times 1{,}3 \times 0{,}1 \times (1\text{-}\ 0) = 0{,}2808 \text{ т/год.}$$

$$M_{SO2} = 0{,}2808/3600 \times 3{,}6 \times 10^{-3} = 0{,}2808/12{,}96 = 0{,}0217 \text{ г/сек}$$

$$Q = (0{,}0217/0{,}106) \times 10^3 = 204{,}72 \text{ мг/м3.}$$

Расчеты от вспомогательного производства:

Источник № 2. Склад хранения угля. Параметры источника: W = 1,5 м/с, B = 716 мм р.с., t = 96 °С, диаметр трубы d = 0,5 м, высота h=4 м. Расход угля – 108 т/год.

Угольная и золошлаковые пыли классифицируют по содержанию в них двуокиси кремния. Обычно содержание SiO_2 в угольной пыли не превышает 10%, что соответствует пыли неорганической с ПДК м.р.= 0,5мг/м^3.

$$V = [(3{,}14 \text{ х } 0{,}5^2) \times 1{,}5] : 4 = 0{,}294 \text{ м}^3/\text{с}$$

Максимально разовые выбросы:

$$G_{\text{атм}} = G_{выд} \times (1 - \chi'_{\text{нл}}/100) \times K \times K_1$$

где $G_{атм}$ – максимально разовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, г/с; $G_{выд}$ – максимально разовое выделение загрязняющих веществ на участке, г/с.

Для помещения, закрытого со всех сторон (например, склад), K = 0,005; до 1 мм включительно – K_1=1;

$$\chi_{oc,}\ \% = 0{,}0$$

$$M_{SiO2} = 108 \times 10\% \times 1 \times 0{,}005 = 0{,}054 \text{ г/с}$$

M_{SiO2}= 0,054×(3600 × 3,6 × 10^{-3}) = 0,054/12,96 = 0,6998 т/год

Q = (0,054/0,294)x10^3 = 183,67 мг/м^3.

Перечень вредных веществ поступающих в атмосферу от котла при сжигании и хранения угля приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Перечень вредных веществ поступающих в атмосферу при сжигании и хранении угля

№ источника	Наименование ингредиента	ПДК$_{max}$ разовая, мг/м^3	Класс опасности	Ожидаемые выброс, г/с	Ожидаемые выбросы т/год
№ 1	Зола	0,01	3	0,191	2,4759
	Окись углерода	5,0	4	0,0269	0,3492
	Двуокись азота	0,085	2	0,0138	0,179
	Двуокись серы	0,5	3	0,0217	0,2808
№ 2	Угольная пыль в пересчете на SiO_2	0,5	4	0,054	0,6998
Итого:				0,3074	3,9847

Как видно из расчетов, что большие ТЭС, можно заменить небольшими котельными и обеспечивать теплом целые кварталы в городских условиях. Эта котельная обеспечивает теплом здания Ферганского политехнического института, а также находящего рядом профессионального колледжа, при этом, концентрация выбросов вредных веществ на много ниже чем на больших ТЭС.

Литература

1. Хабиров Р.С., Королева Н.В., Ишмухамедов Т.Р. Справочник эколога-эксперта. – Ташкент: Госкомприрода, Госэкоэкспертиза, ООО «Кони-Нур», 2009. – 528 с.

2. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Л.: Гидрометеоиздa, 1986. – 245 с.

3. РМ 001745-13-41-87. Отраслевая система повышения эффективности производства и качества работ: Метод. указания по проведению инвентаризации источников выбросов вредных веществ в атмосферу на предприятиях М-ва местн. пром. Узбекистана. – Ташкент: НПО Узмеспром, 1987. – 78 с.

Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н.
Брянский государственный технический
университет, Брянск, Россия

ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Качество и продолжительность эксплуатации наиболее ответственных деталей машин в значительной степени определяется состоянием и свойствами поверхностного слоя рабочих поверхностей, подвергаемых различным видам финишной обработки.

В последние годы в качестве окончательной обработки ответственных поверхностей деталей машин наиболее перспективными являются комбинированные упрочняюще-отделочные процессы, которые создаются на базе электрофизических методов обработки, позволяющих наиболее гибко управлять свойствами рабочих поверхностей тяжелонагруженных деталей.

В предлагаемых исследованиях рассматривалась комбинированная упрочняюще-отделочная обработка на основе лазерного или электромеханического упрочнения и последующей отделочной обработки с применением инструментов из синтетических сверхтвердых материалов.

Поскольку лазерная и электромеханическая обработка вызывают существенное повышение поверхностной микротвердости поверхностных слоев (до 8000–9000 МПа), а также учитывая то, что поверхностные слои имеют ограниченную глубину упрочнения, в качестве отделочных операций целесообразно принять методы поверхностного пластического деформирования (алмазное выглаживание), а также методы алмазно-абразивной обработки (алмазное виброполирование).

В результаты комбинированной механической обработки, основанной на использовании лазерного и электромеханического упрочнения и последующих алмазного выглаживания или алмазного виброполирования, удается осуществить, с одной стороны, управление физико-механическими свойствами поверхностных слоев (в частности поверхностной микротвердостью, глубиной и другими показателями упрочнения) за счет изменения режимов упрочнения и учета закономерностей влияния технологической наследственности и, с другой стороны, управление геометрическими параметрами по-

верхностных слоев (в частности параметрами шероховатости, характеризующими распределение ее ординат по высоте, а также форму неровностей) за счет выбора методов и изменения условий осуществления отделочной обработки [1].

На основе комбинированной упрочняюще-отделочной обработки, осуществляемой лазерным упрочнением и последующим алмазным виброполированием, предложен метод, защищенный авторским свидетельством (а.с. 1148350, МКИ^4 С 21 D 1/09), обеспечивающий создание нового класса поверхностей с регулярным рельефом (с отношением шага неровностей к высоте от 1000 до 2000) и имеющих микротвердость поверхностных слоев на упрочненных участках до 10 000 МПа и позволяющий снизить величину начального износа трущихся поверхностей на 30 % и в 2–3 раза сократить период их приработки.

Исходя из различной интенсивности съема материала с упрочненных и неупрочненных лазерной обработкой-участком при алмазном полировании получены уравнения, позволяющие теоретически определить важнейшие в функциональном отношении параметры регулярного рельефа (высота и радиус выступов, наибольшую высоту неровностей рельефа) в зависимости от плотности энергии лазерного излучения, времени полирования и соотношения площадей поверхностей, упрочненных и не упрочненных лазерной обработкой.

Так, интенсивность изнашивания пар трения «упрочненная цементацией и электромеханической обработкой цилиндрической поверхности детали из стали 40ХН2МА – контртело из бронзы Бр05Ц5С5» в условиях граничного трения при изменении метода отделочной обработки упрочненных поверхностей (со шлифования на алмазное выглаживание) уменьшается с 1,69 до 0,84 мг/с, т.е. в 2 раза, в то время как, для пар трения, у которых образец подвергался ЭМО, она уменьшается по сравнению с парами трения, у которых образец подвергался цементации с 1,61 до 0,91 мг/с, т.е. лишь в 1,77 раза [2].

Комбинированная обработка на основе электромеханического упрочнения и последующего алмазного выглаживания. С помощью такой обработки удается снизить интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей (по сравнению с цементацией и последующим шлифованием) с $1{,}09 \cdot 10^{-10}$ до $2{,}2\text{-}10^{-11}$, т.е. в 4,95 раза и контртел из бронзы с 0,47 до 0,17 мг/км, т.е. в 2,76 раза.

Исследовался способ комбинированной упрочняюще-отделочной обработки на основе импульсного электромеханического уточнения, позволяющий получить новый класс поверхностей с

регулярной микротвердостью, величины которой соизмеримы со значениями, характерными для лазерной обработки. Применение такой обработки для упрочнения рабочих поверхностей стальных деталей по данным стендовых испытаний позволяет в сравнении с закалкой ТВЧ снизить интенсивность изнашивания антифрикционных втулок из сплава ЦАМ 10–5 в 1,63 раза.

Литература

1. Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. Технологическое обеспечение продолжительности эксплуатации тяжелонагруженных деталей и элементов производственной оснастки // Мат. международ. науч.-практ. конф. «Металлообработка-2015», г. Минск. – Мн.: БНТУ, 2015. – С. 11–13.

2. Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. Комбинированная обработка тяжелонагруженных деталей машин // Мат. международ. науч.-практ. конф. «Технология оборудование- инструмент -качество», г. Минск. – Мн.: БНТУ, 2016. – С. 9–11.

Аверченков В.И, Надуваев В.В., Фролов Е.Н.
Брянский государственный технический
университет, Брянск, Россия

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ НАНОАЛМАЗОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

На современном этапе промышленного развития основной тенденцией технического прогресса является технологическая модернизация производства. Наряду с этим постоянно растут требования к повышению производительности обработки, а также к качеству обрабатываемых рабочих поверхностей.

Такое состояние производства определяет постоянный рост применения различных синтетических сверхтвердых материалов, которые по своей твердости и прочности в 3–5 раз превышают обрабатываемый материал. Теоретические и экспериментальные исследования при производстве синтетических алмазов ведутся в направлении изыскания возможностей как наиболее эффективного использования их в

традиционных областях, так и для расширения областей применения, а также в направлении разработки новых методов изготовления поликристаллических алмазов с заданными свойствами, обеспечивающими условия их дальнейшей эксплуатации.

Исходными материалами для производства (спекания) поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) могут служить как шлифпорошки алмазов синтетических (АС) зернистостей 5/3–14/10 мкм, так и синтетические ультрадисперсные алмазы (УДА) – наноалмазы, получаемые детонационным синтезом под воздействием энергии взрыва тротил-гексогена, размер наноалмазных частиц которых составляет 3–20 нм в зависимости от условий протекания процесса синтеза.

Наиболее распространенный способ спекания поликристаллических алмазов – предварительное холодное брикетирование шихты из наноалмазов, а затем – спекание в пресс-формах аппаратов высокого давления (АВД) с пропусканием импульса электрического тока. В настоящее время электроимпульсное спекание является наиболее перспективным методом активированного спекания ПСТМ. Суть метода состоит в сжатии брикетов шихты статическим давлением с последующим разогревом и спеканием путем пропускания через нее импульсного электрического тока. Спекание поликристаллических алмазов обычно осуществляется на специальных прессовых установках с усилием 5–10 МН. При этом в рабочей зоне камеры АВД создается давление 10–15 ГПа в диапазоне температур 3000–4000 К, в зависимости от требуемых характеристик спекаемых поликристаллических алмазов.

Алмазные инструменты изготавливаемые в дальнейшем из ПСТМ можно условно разделить на два класса [1]:

- многокристальные инструменты, к которым относятся буровые коронки, правящие инструменты и отдельные виды режущих инструментов;
- однокристальные инструменты, к которым относятся режущие и контрольно-измерительные инструменты, алмазные волоки и правящие инструменты некоторых видов.

Многокристальные инструменты чаще всего изготавливают из необработанных кристаллов технических алмазов или дробленных ПСТМ сравнительно небольшой массы – до 0,02 карат. Однокристальные инструменты обычно изготавливают из ПСТМ более

крупных размеров (0,02–7,0 карат), используя при этом целиковые спеки или применяют резку спеков на сегменты.

В настоящее время разработана широкая номенклатура инструментов из ПСТМ, имеющих различные физико-механические свойства, выбираемые в зависимости от обрабатываемого материала и условий эксплуатации алмазного инструмента. Так на основании вышеизложенного были созданы варианты технологических процессов изготовления широкой гаммы конструкций алмазных инструментов различного назначения из ПСТМ [2]. Представленные выше материалы показывают, что создание новых конструкций алмазного инструмента из ПСТМ позволяет не только значительно расширить область эффективного применения предлагаемого инструмента в различных отраслях метало- и камнеобрабатывающей промышленности, но и в определенной степени исключить возможность использования инструментов из природных алмазов.

В заключении следует отметить, что как показали предварительные исследования и расчеты технико-экономической эффективности себестоимость инструментов ПСТМ изготавливаемых из наноалмазов, получаемых детонационным способом в среднем в 8–10 раз ниже себестоимости инструментов изготавливаемых из природных алмазов [3, 4].

Литература

1. Надуваев В.В., Фролов Е.Н. Перспективы использования инструментальных материалов Св-алмазов в промышленности// Справочник. Инженерный журнал. – 2009. – №10. – с. 49 – 54.

2. Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. Технология производства поликристаллических алмазов используемых в различных отраслях промышленности // Мат. международ. науч.-практ. конф. «Металлообработка - 2015», г. Минск. – Мн.: БНТУ, 2015. – С. 11–13.

3. Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. Технология производства поликристаллических алмазов на основе синтетических наноматериалов получаемых детонационным способом // Мат. международ. науч.-практ. конф. «Технология оборудование- инструмент -качество», г. Минск. – Мн.: БНТУ, 2016. – С.7–9.

4. Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н Формирование поверхностей с использованием инструментальных материалов СВ-алмазов // Известия ТГУ «Технические науки». – Тула: ТГУ, 2016. – ч. 1. – С. 306–315

Акулович Л.М., Литвин С.М. Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Установлено [1], что при магнитно-абразивной обработке (МАО) имеет место пластическое деформирование поверхностного слоя, сопровождающееся изменением физико-механических свойств поверхностных слоев деталей. На интенсивность абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность и, как следствие, на съем микронеровностей, образованных на предшествующих операциях, основное влияние оказывает давление ферроабразивного порошка на обрабатываемую поверхность.

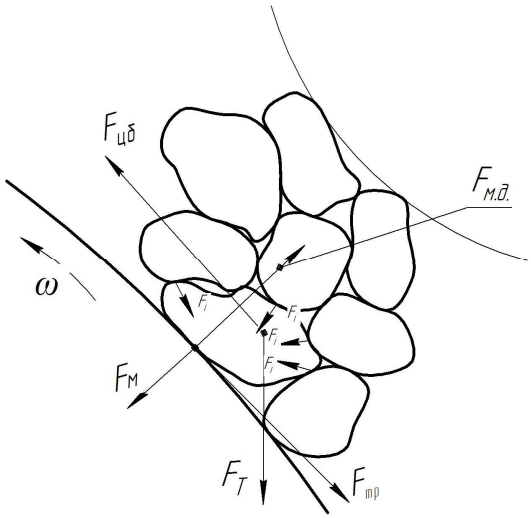
На каждое зерно ферроабразивного порошка, находящегося в рабочем зазоре, действует комплекс сил магнитного и механического происхождения (рис. 1). Соотношение сил определяется свойствами компонентов рабочей технологической среды, включающими характер и интенсивность внешнего магнитного поля, магнитную проницаемость материала и топографию (форма и размеры) частиц ферроабразивного порошка (ФАП), свойства применяемого смазочно-охлаждающего технологического средства.

Результирующая сила F, действующая на единичное зерно порошковой среды в рабочем зазоре, является векторной суммой составляющих ее сил и определяется по формуле:

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{м}} + \vec{F}_{i} + \vec{F}_{\text{цб}} + \vec{F}_{\text{мд}} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{F}_{\text{т}}$$

.

Суммарная сила F, действующая на зерно ФАП, составляет



$\vec{F}_{\text{м}}$ – магнитная сила; $\vec{F}_{\text{i}}$ – инерционная сила; $\vec{F}_{\text{цб}}$ – центробежная сила; $\vec{F}_{\text{мд}}$ – сила механического давления; $\vec{F}_{\text{тр}}$ – сила трения; $\vec{F}_{\text{т}}$ – сила тяжести

Рисунок 1 – Схема сил, действующих на зерна ферроабразивного порошка при МАО

$(0,5–16)\times10^{-3}$ Н. При более высоких значениях сил (более 20×10^{-3} Н), действующих на зерно порошка, происходит более интенсивное снятие микростружки.

Основной составляющей силы F является магнитная сила $F_м$. При обработке материалов с низкой магнитной проницаемостью значение результирующей силы значительно снижается. Поэтому при обработке материалов с низкой магнитной проницаемостью необходимо компенсировать ослабленное действие силы $F_м$. Одним из методов компенсации является увеличение скорости резания.

Экспериментальные исследования влияния скорости резания на изменение микротвердости проводили на цилиндрической поверхности корпуса резцов РКС-1, изготовленного из стали 30ХГСА. Режимы обработки: магнитная индукция B = 1 Тл, рабочий зазор δ = 1 мм, ФАП TiC–Fe зернистостью 250/315 мкм, время обработки t = 120 с. В качестве технологической жидкости использовали водный раствор с содержанием (3–4%) триэтаноламина или Аквапола 12.

Микротвердость оценивали по параметру HV на микротвердомере DURAMIN 5 при нагрузке на пирамиду 50 г. Измерения микротвердости проводили в сечении, перпендикулярном оси симметрии резца. Шаг измерения составлял 0,05 мм.

Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя представлено на рис. 2. При увеличении скорости резания до V = 2,4 м/с происходит увеличение микротвердости поверхностного слоя до 40 %. Это связано с пластической деформацией поверхностного слоя частицами ферроабразивного порошка, которая приводит к повышению концентрации дислокаций и измельчению хрупких фаз, что значительно упрочняет поверхностный слой детали.

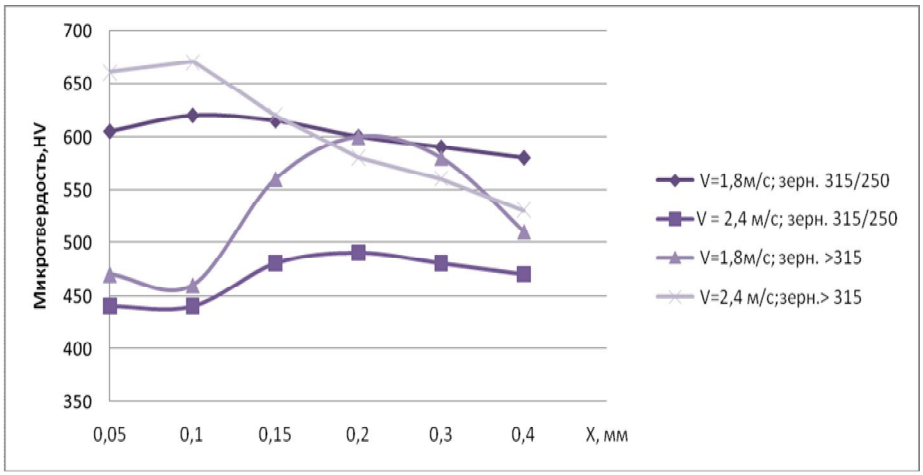


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя после МАО стали 30ХГСА

Глубина расположения максимума микротвердости практически одинакова при обработке со скоростью 1,8–2,4 м/с и составляет 10–20 мкм. Наличие пика связано с ударным воздействием частиц порошкового инструмента на обрабатываемую поверхность. Подобное действие частиц ФАП идентично действию микрошариков или частиц абразива при струйных видах абразивной обработки.

Размер частиц ФАП также оказывает влияние на распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя при разных скоростях МАО. При обработке крупной фракцией порошка (более 315 мкм) на больших скоростях подповерхностный минимум микротвердости отсутствует. По всему слою микротвердость спадает плавно. Это можно объяснить тем, что в немонотонном изменении (формировании максимумов и минимумов) микротвердости при МАО особенную роль играют прослойки, в которых скапливается большое количество малоподвижных дислокаций. При увеличенных скоростях обработки и использовании крупного порошка сила удара частиц сдвигает эти дислокации и они распределяются более равномерно. Этим же можно объяснить и увеличение толщины упрочненной зоны почти на 400 мкм. Но в этом случае ухудшается шероховатость поверхности.

Наиболее высокие показатели микротвердости поверхностный слой приобретает в первые 120 с обработки (рис. 3) [2]. Именно за этот промежуток времени формируется минимальная шероховатость поверхности и происходит первичное упрочнение поверхностного слоя. Увеличение времени обработки приводит к уменьшению глубины слоя с повышенной микротвердостью и ее величины.

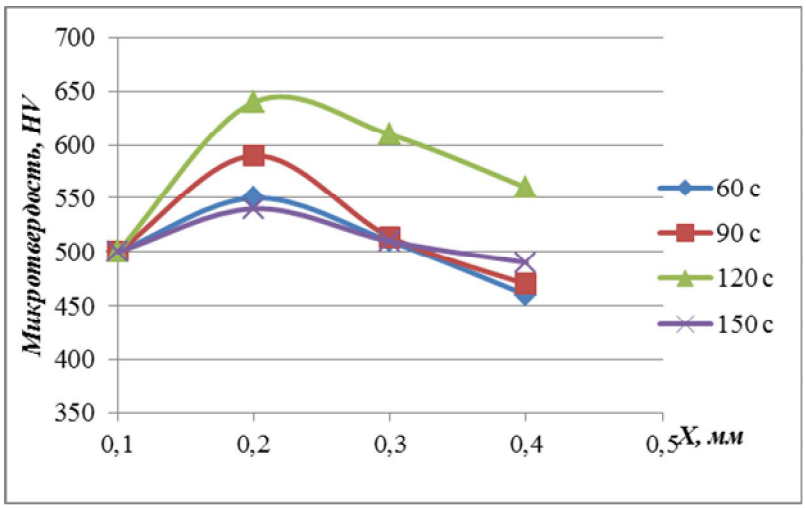


Рисунок 3 – Распределение микротвердости по глубине *X* упрочненного слоя в зависимости от времени магнитно-абразивной обработки ФАП зернистостью Δ = 315/250 мкм

Литература

1. Панченко В.М. Исследование технологических возможностей магнитно-абразивной обработки для повышения эксплуатационных свойств деталей машин: автореф. дис…. канд. техн. наук. – Брянск: БИТМ, 1976. – 24 с.

2. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Мн. : БГАТУ, 2013. – 372 с.

Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Сенчуров Е.В., Дубновицкий С.К. Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО НА ОСНОВЕ ОКСИЭТИЛИРОВАННЫХ АЛКИЛФЕНОЛОВ ДЛЯ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Известно, что адсорбция молекул присадок смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) играет важную роль в процессе резания различных материалов при механической обработке деталей машин. Также установлено, что граничный слой молекул образуется путем реализации двух основных механизмов: физико-химические процессы (адсорбция) и химическая поверхностная реакция [1]. Проведенный анализ зоны трения «инструмент – обрабатываемый материал» показывает, что их контактирование следует рассматривать как проявление одной из характеристик открытой неравновесной термодинамической системы [2]. Проявлением данной системы является возникновение вторичной диссипативной гетерогенности, которая в процессе трения способствует структурной приспосабливаемости (СП) алюминиевых сплавов, что приводит к формированию вторичных структур (ВС), выполняющих защитные функции, ограничивая взаимодействие трущихся тел и уменьшая его интенсивность. Устойчивость явления СП определяется динамическим равновесием и саморегулированием процессов образования ВС [3]. Вследствие этого, вопрос механической обработки цветных сплавов, в том числе алюминиевых сплавов, имеет

высокую значимость, так как его решение влияет на обеспечение технико-экономических показателей выпускаемой продукции.

Одной из финишных операций механической обработки цветных сплавов является магнитно-абразивная обработка (МАО) [4–5]. Ее особенностью служит возможность регулирования жесткости инструмента, производящего размерный и массовый съем материала, путем создания ферроабразивной «щетки» с подвижно-координированным зерном. Связку для такого инструмента осуществляет энергия электромагнитного поля. Диапазон достигаемых температур в зоне обработки составляет 400–450ºС, что требует применения СОТС [6].

Традиционно в качестве агентов СОТС используются растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), высокий уровень моющих и смазывающих свойств которых обеспечивает необходимые качественные показатели обработки. Однако их режущая способность невелика в сравнении с эмульсолами, которые обеспечивают повышение коэффициента трения в зоне резания и уменьшение степени подвижности зерна ферроабразивного порошка (ФАП). Вместе с тем стойкость инструмента при использовании эмульсолов резко снижается. Таким образом, задача повышения эффективности модели ПАВ и ее структурирования для МАО алюминиевых сплавов заключается в необходимости роста режущей способности СОТС. Предлагаемым решением поставленной задачи является создание либо более производительной бинарной системы – ПАВ + вода, либо образование более сложной системы путем введения соответствующих присадок.

В производстве бинарных систем широкое применение находит такой продукт, как неонол, представляющий комплексное ПАВ в виде оксиэтилированных алкилфенолов на основе триммеров пропилена, которые являются технической смесью полиэтиленгликолевых эфиров моноалкилфенолов следующего состава:

$$C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_nH,$$

где C_9H_{19} – алкильный радикал изононил, присоединенный к фенолу преимущественно в пара-положении к гидроксильной группе; n – усредненное число молей окиси этилена, присоединенное к одному молю алкилфенолов.

Проведенные исследования данной бинарной системы показали, что использование 3-5% водного раствора неонола обеспечивает необходимую результативность процесса МАО алюминиевых сплавов, однако по истечению определенного периода времени возни-

кающая структурная приспосабливаемость препятствует дальнейшему съему материала. Одним из решений возникшей проблемы является создание тройной системы ПАВ путем использования в качестве присадки триэтаноламинового мыла синтетических жирных кислот (СЖК) фракции C_7-C_9, которое обеспечивает наличие мезофазы. Данное соединение характеризуется полифункциональностью, а также высокой скоростью отклика на изменение условий обработки методом МАО, Также обоснованием использования триэтаноламинового мыла СЖК фракции C_7-C_9 служит его способность к мезоморфизму, который обеспечивает возможность формирования надмолекулярных органических ансамблей (адсорбции молекул) и, в конечном счете, проявления синергетизма по режущей способности данного состава СОТС. Такая способность для роста эффективности процесса МАО алюминиевых сплавов определяется температурно-концентрационным районом существования мезофазного состояния. Данная присадка должна нивелировать скачок вязкости в зоне гелеобразования ПАВ, что благоприятно сказывается на моющей, смазывающей и, главное, регулирующей способности СОТС. При достижении необходимого уровня концентрации и образования требуемого показателя вязкости коэффициент трения между контактирующими телами – «инструмент – обрабатываемый материал» – может плавно изменяться и приобретать то значение, которое оптимально для указанных выше способностей СОТС. Зона гелеобразования в этих системах не имеет того флуктуационного перехода, что вызывает критическое поведение в связи с лавинообразным ростом вязкоупругих характеристик среды.

Испытания известного (СинМА-1) и предлагаемых составов СОТС проводились при следующих режимах и параметрах процесса МАО: магнитная индукция, $B = 1{,}1$ Т; скорость резания, $V_р = 2{,}5$ м/с; скорость осцилляции, $V_о = 0{,}12$ м/с; амплитуда осцилляции, $A = 1$ мм; величина рабочего зазора, $\delta = 1$ мм; время обработки, $t = 45$ с; ФАП – Ж15КТ ТУ 6-03-09-483-81, размерность зерна, $\Delta = 200$-315 мкм. В качестве образцов использовались втулки из алюминиевых сплавов АМг6 и Д16 ГОСТ 4784-97 D×d×L=36×32×32 мм, которые крепились на ферромагнитной оправке. Исходная шероховатость поверхности образца $Ra_1 = 1{,}25$-$1{,}6$ мм. В процессе проведения исследований оценивался массовый съем материала (ΔG, мг) и достигаемая шероховатость поверхности (Ra_2, мкм). Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты обработки образцов

Составы СОТС	Обрабатываемый материал			
	АМг6		Д16	
	ΔG, мг	Ra_2, мкм	ΔG, мг	Ra_2, мкм
СинМа-1	40,0	0,36	47,0	0,43
1	43,0	0,37	49,0	0,34
2	50,0	0,22	62,0	0,27
3	45,0	0,41	52,0	0,38

Анализ результатов показывает, что применение варианта СОТС №2, представленного в табл. 1, обеспечивает увеличение производительности процесса МАО в 1,5–1,6 раза и снижение шероховатости в 1,5–2,0 раза. Разработана рецептура нового вида СОТС для МАО алюминиевых сплавов его приготовления и установлено повышение производительности процесса резания за счет проявления синергизма при соединении компонентов предлагаемого СОТС.

Литература

1. Усольцева, Н.В. Лиотронные жидкие кристаллы. – Иваново: ИвГУ, 1994. – 220 с.

2. Бершадский, Л.И. Структурная термодинамика трибосистем. – К.: Знание, 1990. – 254 с.

3. Гершман, И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах // Трение и износ. – 1995. – Т. 16, №1. – С. 61–70.

4. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущего инструмента. – Л.: Машиностроение, 1986. – 236 с.

5. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле: монография / П.И. Ящерицын, Л.М. Кожуро, А.П. Ракомсин и др. – Мн.: ФТИ, 1997. – 415 с.

6. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский, Э.Н. Федорович, П.И. Ящерицын. – Мн.: Навука і тэніка, 1991. – 216 с.

Анкуда С. Н., Хейфец И.М. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь
Федоров В.П. Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Интенсификация процессов создания новых конкурентоспособных изделий требует сокращения сроков и повышения качества проектно-конструкторских и производственно-технологических работ. Эти требования можно обеспечить только применяя новые технологии проектирования, основанные на использовании методов математического моделирования и вычислительной техники.

Модель – это объект (например: явление, процесс, система, установка и др.), находящийся в отношении подобия к моделируемому объекту. Под *подобием* понимается взаимно однозначное соответствие между двумя объектами. Модели выделяются по своему назначению, а значит и по выполняемым функциям, структуре и т.д.

Информационные (описательные), используемые в качестве обучающих или советующих систем, для изучения взаимного влияния факторов на выходные параметры, установления границ, в пределах которых достигается рациональный режим работы системы и т.д.

Оптимизационные, используемые для поиска оптимальных условий протекания процесса в системе. В качестве оптимизационных могут применяться информационные модели, дополненные блоком оценки результата на основании целевой функции, с учетом налагаемых ограничений на изменение входных и выходных переменных.

Управления (регулирования) процессом, используемые для воздействия на систему в реальном масштабе времени с целью компенсации нежелательных случайных возмущений и смещения системы в направлении экстремального значения целевой функции. Модель является компонентом системы автоматического управления (САУ).

Эвристические, используемые для получения новых знаний и изучения механизма процессов на основе сопоставления результатов моделирования и натурных измерений, выдвижения и проверки новых гипотез о структуре взаимосвязей между факторами, введения дополнительных факторов в модель и т.д.

Создание сложных технических объектов, включающее моделирование и управление, невозможно без привлечения методов *искусственного интеллекта*, направленных на решение определенного класса задач при их специфической алгоритмизации, составляющих класс *генетических алгоритмов*.

Привлечение методов искусственного интеллекта предполагает использование интеллектуальных систем управления (ИСУ), в основе которых лежит идея построения высокоорганизованных систем автоматического управления, основанных на использовании моделей переменной сложности и неопределенности, с выполнением таких интеллектуальных функций, присущих человеку, как принятие решений, планирование поведения, обучение и самообучение в условиях изменяющейся внешней среды.

Обучение – способность системы улучшать свое поведение в будущем, основываясь на прошлой экспериментальной информации о результатах взаимодействия с окружающей средой.

Самообучение – обучение системы без внешней корректировки, т.е. без указаний «учителя».

Интеллектуальная система управления такая система, в которой знания о неизвестных характеристиках управляемого объекта и окружающей среды формируются в процессе обучения и адаптации, а полученная при этом информация используется в процессе автоматического принятия решений для улучшения качества управления.

Необходимый признак ИСУ – наличие базы знаний, содержащей сведения, модели и правила, позволяющие уточнить поставленную задачу управления и выбрать рациональный способ ее решения.

Математические модели связывают входные (независимые) переменные процесса $X(x_1,x_2,...,x_n)$, называемые воздействиями, с выходными (зависимыми) характеристиками $Y(y_1,y_2,...y_m)$, которые обычно именуют откликами, в виде уравнения связи.

$$Y=f(X) \qquad (1)$$

Любому реальному процессу свойственны случайные колебания, вызываемые физической изменчивостью каких-либо факторов $x_i \pm \Delta x_i(\tau)$ или внешними случайными воздействиями. В силу этого при равном среднем значении входных характеристик $X(\tau)$ в моменты τ_1 и τ_2 выходные параметры $Y(\tau)$, будут неодинаковыми.

Поэтому для вероятностных процессов, где по сравнению с $x_i(\tau)$ нельзя пренебречь случайными колебаниями $\Delta x_i(\tau)$ и случайными внешними воздействиями $\xi_j(\tau)$, необходимо характеризовать систе-

му с учетом статистического закона распределения мгновенных значений $Y(\tau)$ относительно средней величины $Y_{ср}(\tau)$ уравнением

$$Y(\tau) = Y_{ср}(\tau) \pm \Delta Y(\tau) = f(X_{ср}) + \zeta(\Delta X, \xi) \qquad (2)$$

Модели, отображающие случайный (стохастический) характер параметров и факторов системы, называются *статистическими* или *стохастическими* в отличие от *детерминированных*, не учитывающих вероятностных характеристик процессов.

По мере уменьшения величины параметров ΔX и ξ уравнение (2) приближается по структуре к уравнению (1), описывающему детерминированные системы.

Обычно детерминированные модели, представляющие собой систему уравнений, удается составить только в тех случаях, когда о процессах в описываемой системе имеются ясные физические представления и эти представления можно формализовать. В таких случаях говорят, что система представляет собой «белый ящик» – объект с известной структурой и функциями. Однако получаемая таким образом модель может оказаться громоздкой, а ее информационное обеспечение весьма трудоемким. Поэтому часто используют статистические модели для описания детерминированных систем. В таких случаях рассматривают систему как «черный ящик» с неизвестной структурой, в котором доступны для изучения только контролируемые входные параметры X и измеримые выходные характеристики Y.

Детерминированные модели, могут также использоваться для описания стохастических систем, если объектом изучения являются их усредненные характеристики. Таким образом, статистические модели являются более широким классом моделей и включают детерминированные модели как предельный случай, в котором выходные параметры Y однозначно определяются входными переменными X.

В последнее время все более широко распространяется построение и исследование моделей поведения сложных технических объектов и способов управления ими на основе имитации реализованных природой механизмов в живых существах, т.е. происходит *биологизация* процессов моделирования и управления. Возможно и совместное применение различных моделей и методов при обработке информации об одном и том же объекте – в этом состоит сущность *гибридизации*.

Наибольшее распространение при проектировании ИСУ получили методы *интеллектуального управления* (ИУ), которые отно-

сятся: экспертные и нечеткие системы; нейронные сети и генетические алгоритмы.

Нейронные сети (НС)– раздел искусственного интеллекта, для обработки сигналов в котором используются явления, аналогичные явлениям, происходящим в нейронах живых организмов. Их важнейшей особенностью является возможность параллельной обработки информации всеми звеньями. Громадное количество межнейронных связей позволяет значительно ускорить процесс обработки информации и сделать возможным преобразование сигналов в реальном времени. Большое число межнейронных связей обеспечивает устойчивость НС к ошибкам: в этом случае функции поврежденных связей берут на себя исправные линии и деятельность сети не претерпевает существенных возмущений.

Основу каждой нейросети составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, то есть ячейка нейросети. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом. Выход нейрона есть функция его состояния – «функция активации», или «передаточная функция» нейрона. Одним из важных факторов является способ ее обучения. Выделяют два подхода: обучение с учителем и обучение без учителя. При обучении с учителем предполагается, что, помимо входных сигналов, известны также и ожидаемые выходные сигналы нейрона. Если такой подход невозможен, следует выбрать стратегию обучения без учителя. Подбор весовых коэффициентов в этом случае проводится на основании либо конкуренции нейронов между собой, либо с учетом корреляции обучающих и выходных сигналов.

Одно из самых важных свойств НС состоит в способности к обучению и к обобщению полученных знаний. Сеть обладает чертами искусственного интеллекта. Натренированная на ограниченном множестве обучающих выборок, она обобщает накопленную информацию и вырабатывает ожидаемую реакцию применительно к данным, не обрабатывавшимся в процессе обучения.

Генетические алгоритмы (ГА) – большая группа методов адаптивного поиска и многопараметрической оптимизации, связанная принципами естественного отбора и генетики. Генетические алгоритмы – это методы случайного глобального поиска, копирующие

механизмы естественной биологической эволюции. ГА оперируют с популяцией оценок потенциальных решений (индивидуумов), генерируя по принципу "выживает наиболее приспособленный" все более близкие к оптимальному решения. Процесс такой последовательной генерации приводит к эволюции популяций индивидуумов, которые лучше соответствуют окружающей среде по сравнению с предыдущими.

ГА отличаются от обычных методов оптимизации рядом обстоятельств. В частности, они представляют собой метод параллельного поиска глобального экстремума, использующий в процессе поиска сразу несколько кандидатов на решения (закодированных точек), которые образуют развивающуюся по определенным случайным законам популяцию. Используемые при этом механизмы позволяют отсеять неподходящие варианты и выделить, а затем и усилить положительные качества вариантов, наиболее полно отвечающих поставленной цели. Целевыми функциями могут быть: ошибка идентификации и прогноза в текущий или будущий момент времени; один из показателей качества процесса (функционал); ошибка обучения НС – рассогласование между выходными объекта и эталонной модели системы.

Применение ГА охватывает не только класс традиционных задач оптимизации, но и быстро распространяется на задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности.

Бажин А.Г., Погудин С.А. Ижевский
государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова», Ижевск, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННОЙ ДЕТАЛЬЮ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

Существует ряд соединений, требующих согласно своему функциональному назначению плотного прилегания сопрягаемых поверхностей и возможности их точного взаимного перемещения. Традиционным в таких случаях является метод пригонки, применяющийся для достижения высокой точности за счет дополнительной обработки со снятием стружки в процессе сборки. Однако этот метод отличается высокой трудоемкостью. Проблема усугубляется

при сборке соединений с тонкостенной маложесткой сопрягаемой деталью сложного профиля (рис. 1).

В работах [1, 2] предложена технология автоматизированной пригонки поверхностей, включающая 3D сканирование поверхности исходной детали, экспорт полученной модели в CAM систему, генерацию управляющей программы и обработку сопрягаемой поверхности ответной детали.

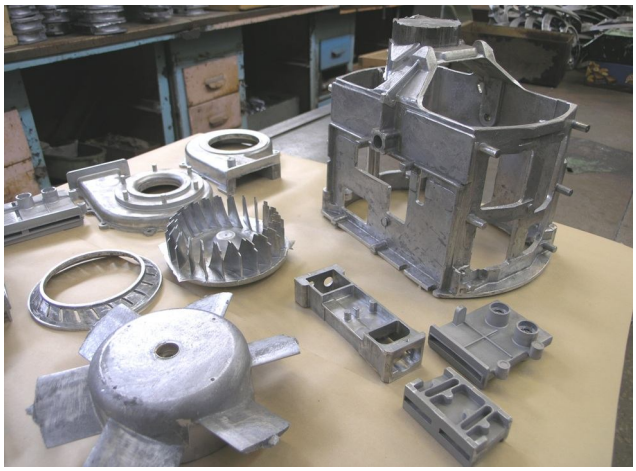


Рисунок 1 – Примеры тонкостенных деталей сложного профиля

Указанная технология опробована при изготовлении соединения (рис. 2), состоящего из охватывающей тонкостенной детали сложного профиля и охватываемой толстостенной детали.

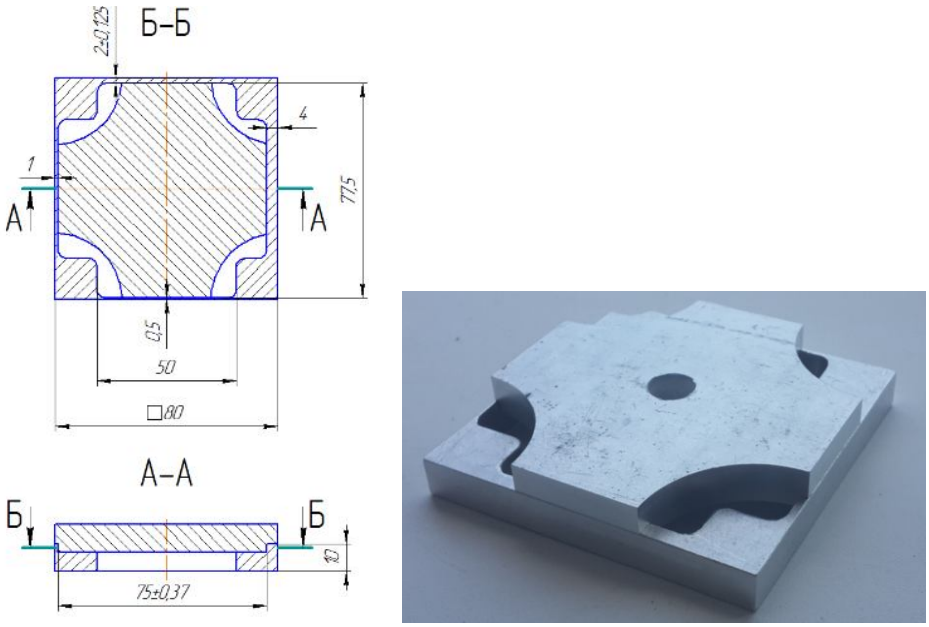


Рисунок 2 – Экспериментальное соединение

На трехкоординатом вертикально-фрезерном станке с ЧПУ модели *Х3К* методом попутного фрезерования произведена обработка внутренней (охватывающей) поверхности тонкостенной детали. Фрезерование выполнено правой концевой цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями 2220-0007 ГОСТ 17025-71. Диаметр и ширина фрезы соответственно Ø6 мм и B =10 мм, угол наклона режущей кромки ω = 35º, число зубьев фрезы z = 4, материал режущих

зубьев Р6М5. Режим резания: t = 1 мм, S_z = 0,05 мм/зуб, n = 1500 об/мин.

После обработки произведен контроль точности геометрической формы (плоскостности) поверхностей внутренних стенок детали с использованием КИМ *Cimcore infinite* 2.0. Результаты контроля показали следующих отклонения: на поверхности стенки толщиной 0,5 мм – от 0,069 до 0,493 мм; толщиной 2 мм – от 0,308 мм до 0,628 мм; толщиной 1 мм – от 0,423 до 0,784 мм; толщиной 4 мм – от 0,105 мм до 0,195 мм. Данные отклонения при обработке на одном режиме резания возникли вследствие разной толщины стенок и соответственно, их неодинаковой жесткости.

Далее с использованием 3*D*-сканера *Rexcan* 4 произведено сканирование поверхностей внутренних стенок. Скан импортирован в программу *Power Shape* и на его базе созданы боковые поверхности охватывающей детали.

Полученные поверхности импортированы в программу *NX CAM*, которая сгенерировала управляющую программу по которой произведено фрезерование охватываемой поверхности толстостенной детали.

Применение описанной технологии позволяет качественно, по иному, проектировать технологические процессы изготовления профильных соединений с маложесткими тонкостенными деталями сложного профиля. Существенным преимуществом такой технологии являются снижение трудоемкости и повышение производительности пригоночных работ при сборке соединений.

Литература

1. Новая автоматизированная технология пригонки поверхностей / И.А. Печенкин, Н.С. Сивцев, Ю.В. Пузанов, А.Г. Бажин // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 13-й Междунар. научн.-техн. конф., 3–7 мая 2013 г., г. Ялта. – К. : АТМ Украины, 2013. – С. 215–217.

2. Автоматизированная технология обработки деталей ружья МР-27ЕМ / И.А. Печенкин, Н.С. Сивцев, Ю.В. Пузанов, А.Г. Бажин И.А. // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – № 3 (59). – С. 21–24.

Балицкая Н.А., Крижановский В.Б., Мельничук П.П., Москвин П.П., Рудницкий В.А. Житомирский государственный технологический университет, Житомир, Украина

МОНОФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО РЕЛЬЕФА ПЛОСКОСТЕЙ, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Получение поверхности образцов с заданным уровнем ее шероховатости составляет важное направление в металлообработке. Не менее важным и тесно связанным с предыдущим направлением, является поиск и применение новых нетривиальных методов описания рельефа поверхности. К ним следует отнести методы, использующие в своей основе теорию степенных рядов и представления о фрактальной структуре системы. Возможно, что использование подхода, когда в рассмотрение вводятся дробные размерности для описания микропространства, позволит впоследствии теоретически обосновать и описать многие явления, которые трудно интерпретируются в рамках классических физических представлений.

Одно из направлений в решении задачи по математическому описанию состояния поверхности материала связано с применением методов монофрактального анализа. Действительно, описать простыми математическими выражениями сложные геометрические формы, которые образовываются на поверхности деталей в результате механической обработки, как правило, представляется бесперспективным. В то же время, игнорировать влияние появления иных форм симметрии, а именно фрактальных, на обеспечение окончательных эксплуатационных свойств поверхности на прецизионном уровне их исследований не представляется оправданным.

В работе сообщается о результатах применения монофрактального анализа для параметризации поверхности образцов из стали 35 после ее обработки торцевым фрезерованием при различных режимах резания.

Среди возможных геометрических параметров пространственных форм, образующихся на поверхности образцов, была выбрана их площадь поверхности. Именно этот параметр системы образовал базовое множество меры при монофрактальном анализе. Входная информация для анализа площади поверхности детали была получена из микрофотографий. Для расчета параметров монофрактальн-

ного распределения площади в образцах применяется вычислительная программа Gwyddion.

Образцы для исследования были получены фрезерованием плоских заготовок из стали 35 на вертикально-фрезерном станке модели 6Р12. Режущим инструментом служила торцевая фреза диаметром 40 мм с механическим креплением четырех пятигранных пластинок из твердого сплава Т15К6 с покрытием из нитрида титана. При этом варьируемыми параметрами процесса обработки поверхности служили подача заготовки S (25–400 мм/мин) и глубина резания t (0,5–2,5 мм). Постоянным параметром была выбрана частота ее вращения – 125 об/мин, что соответствует скорости резания 130 м/мин.

Цифровой фотоаппарат для получения изображений в отраженном свете был смонтирован непосредственно на модернизированном оптическом микроскопе. Однородность освещения поверхности образца обеспечивалась за счет использования набора светодиодов, которые равномерно размещались на кольцевом держателе вокруг объектива.

Рассчитаны и проанализированы размерности Хаусдорфа для площади поверхности геометрических микроформ, формирующихся на поверхности образцов в процессе резания при различных значениях подачи и глубины резания, которые для разных масштабов укрупнения находятся в пределах 2,5–2,7 и 2,4–2,6 соответственно. Показано, что размерности поверхности находятся в тесной корреляции с технологическими условиями проведения процесса фрезерования материала. По мере увеличения подачи и глубины резания размерности площадей поверхностей возрастают. Это соответствует общей и известной на практике тенденции получать более шероховатые, не планарные поверхности у образцов, которые формируются в более жестких, энергоемких условиях резания.

Таким образом, найденные количественные взаимосвязи позволяют утверждать о возможности (при надлежащем выборе размеров анализируемых поверхностей) использования фрактальной геометрии для описания поверхности, сформированной сложным совместным периодическим действием режущих кромок инструмента и колебаний технологической системы.

Білякович О.М., Варюхно В.В., Личик В.І.
Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗНОШУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИБОСПОЛУЧЕННЯХ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Вплив властивостей мастильного середовища на зносостійкість трибосистем відрізняється своєю складністю та багатогранністю. При цьому структура, склад та якісний стан олив суттєво впливають на перебіг трибологічних процессов у контактній зоні пар тертя, у значній мірі визначають міцність та товщину граничних мастильних шарів, адсорбованих на контактних поверхнях, характер трибохімічних реакцій у контакті, вид створених структур тощо.

У процесі тертя та зношування у трибосистемах відбуваються різноманітні фізико-хімічні процеси, що пов’язані зі взаємною зміною мастильних матеріалів та поверхонь тертя. Зокрема, проходять механічні та термічні деструкційні процеси безпосередньо у самому мастильному середовищі, внаслідок чого утворюються продукти старіння та полімеризації, відбувається насичення олив та мастил продуктами зношування, дрібнодисперсними частинками зовнішніх забруднень.

Факт впливу параметрів якості мастильних матеріалів на протизношувальні властивості трибосполучень підтверджується результатами досліджень багатьох вчених. Причому, висновки щодо наслідків цього впливу на трибопроцеси у контактній зоні достатньо суперечливі.

Деякі вчені схиляються до думки, що заміна олив в агрегатах транспортних засобів повинна проходити якнайчастіше [1, 2]. З іншого боку результати досліджень Є.Г. Семенідо, М.П. Новікова, С.В. Венцеля, Є.С. Венцеля та інших доводять наявність більш високих протизношувальних властивостей у олив, що працювали, у порівнянні з оливами у стані постачання. За їх свідченнями цьому сприяють продукти окислення мастильних середовищ, створення яких зменшує інтенсивність зношування пар тертя, і, як наслідок, окислення самої оливи (зворотній зв’язок), а також наявність дрібнодисперсних частинок механічних домішок та продуктів зношування трибосполучень, що трансформуються у протизношувальну присадку [3–5].

Зі збільшенням пробігу підконтрольних транспортних засобів (ПТЗ), а, отже, зі збільшенням тривалості експлуатації трибосистем їх елементи все більше зазнають змін структурного та якісного характеру, які у відповідності до принципу Ле-Шателье-Брауна проходять у напрямку максимальної пристосованості трибосистеми до умов тертя, створення нових структур, здатних забезпечувати мінімальний рівень енерговитрат на тертя – олива у стані постачання з часом набуває кращих протизношувальних властивостей за рахунок накопичення продуктів старіння та механічних домішок складної структури, що являються протизношувальною та протизадирною присадкою, яку генерує сама олива.

Існування явища структурної пристосовуванності компонентів трибосистем у процесі експлуатації вузлів та агрегатів трансмісій автотранспортних засобів, що сприяє довготривалому використанню мастильних середовищ у парах тертя та підтримує при цьому високий рівень їх протизношувальних і протизадирних властивостей, підтверджується результатами вимірювання зносу досліджуваних зразків після їх випробувань у середовищі олив, які знаходились у двох якісних станах – у стані постачання та після завершення регламентованого ресурсу використання у трансмісіях ПТЗ (рис. 1).

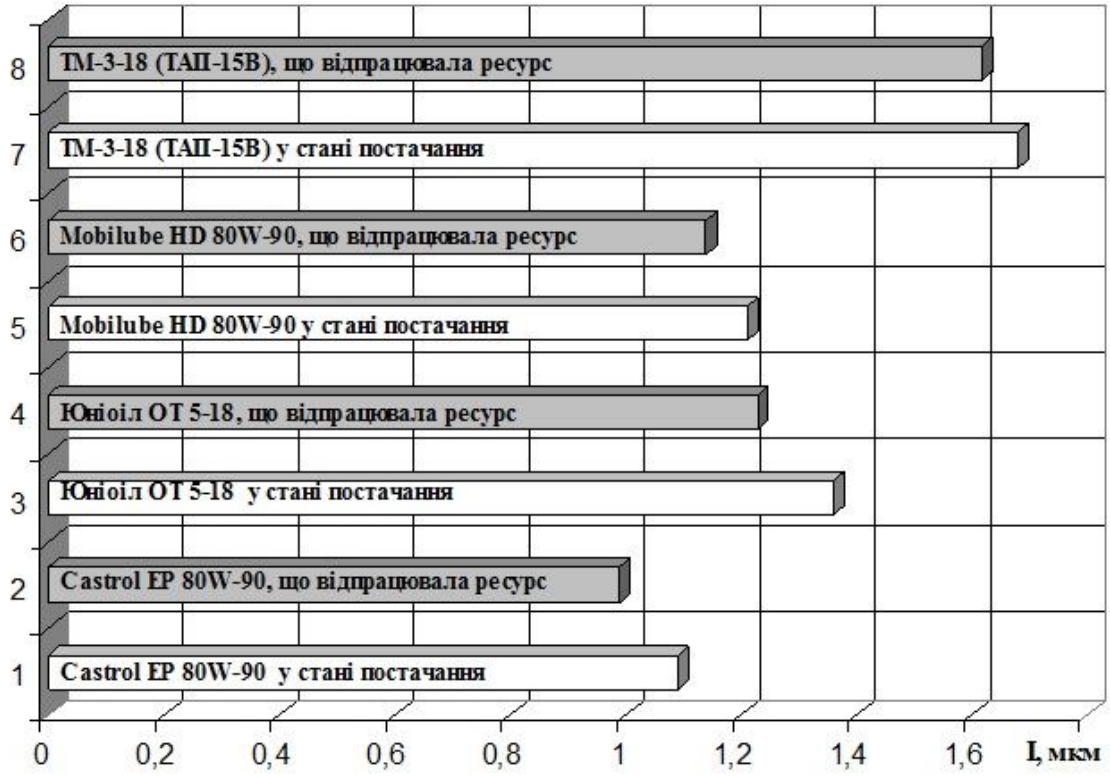


Рисунок 1 – Діаграма значень зносу досліджуваних зразків, отриманих методом штучних баз (нестаціонарний режим тертя, зразки – Ст 30ХГСА, різні марки трансмісійних олив, $T_{об}$ = 90 °С)

Порівняльна оцінка протизношувальних властивостей різних марок олив, що знаходились в одному якісному стані, не є коректною, оскільки дані оливи мають суттєві відмінності щодо структури, якості та функціонального призначення.

Проте, порівнюючи величини зносу, які були отримані при використанні у якості мастильного середовища певних марок олив при різних параметрах якості, слід зазначити, що після випробувань у товарних оливах для всіх досліджуваних мастильних матеріалів значення зносу перевищували аналогічні значення, отримані після випробувань у відпрацьованих оливах.

При аналізі діаграм значень зносу, представлених на рис. 2, слід зазначити на відсутність ефекту позитивного впливу продуктів старіння олив та дрібнодисперсних механічних домішок на зношувальні процеси у контактній зоні трібосполучень. Очевидно, це пов’язано із незначною тривалістю попереднього використання досліджуваних мастильних матеріалів в агрегатах трансмісій ПТЗ – концентрація вищезазначених компонентів у оливах ще недостатня для забезпечення протизношувальної дії на поверхнях тертя при поступовому спрацьовуванні пакету присадок (у оливі Shell Spirax 80W-90). Саме тому, на думку авторів, спостерігається певне зростання значень зносу у середовищі обраних марок трансмісійних олив зі збільшенням пробігу ПТЗ.

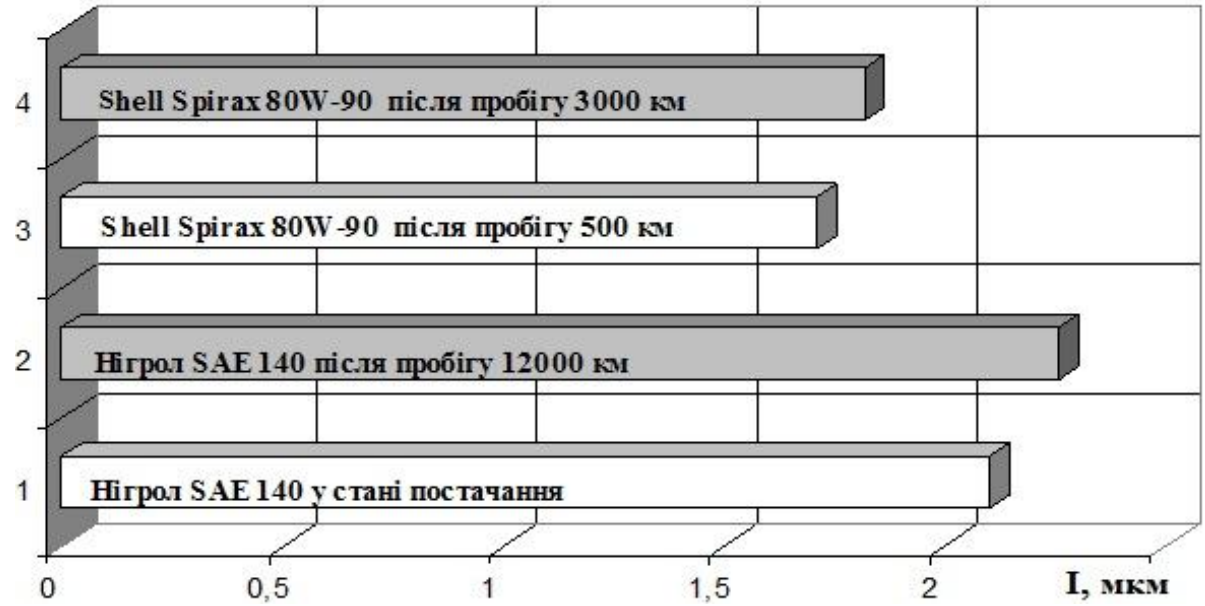


Рисунок 2 – Діаграма значень зносу досліджуваних зразків, отриманих методом штучних баз (нестаціонарний режим тертя, зразки – Ст 40Х, різні марки трансмісійних олив, $T_{об}$ = 90 °С)

Результати проведених досліджень не є свідченням доцільності беззмінної експлуатації мастильних матеріалів в агрегатах трансмісій автотранспортних засобів. При очевидній корисності продуктів старіння та забруднення олив, що при певних умовах здійснюють протизношувальний вплив на елементи трибосистеми, слід зауважити на наявність обставин, які вимагатимуть заміни мастильного середовища. При надмірному окисленні оливи зростає її в'язкість, що створює сприятливі умови для утворення консистентних згустків, при цьому може зростати корозійна агресивність оливи, присутність крупнофрагментних частинок механічних домішок може спричинити виникнення абразивного зношування, суттєве збільшення концентрації домішок призводить до коагуляції останніх, їх осідання, забивання маслопроводів та фільтрів тощо.

Саме тому говорити про можливість ефективного використання у трибосистемах продуктів старіння та забруднення олив, розробляти рекомендації щодо оптимізації їх раціонального застосування, методики прогнозування ресурсу трансмісійних олив можна виключно на основі проведення хімотологічних досліджень процесів старіння мастильного середовища, глибокого вивчення кінетики формування та деструкції поліфазних граничних шарів в умовах зміни якісного стану мастильних середовищ при тривалій експлуатації вузлів тертя, механізмів структурних змін у граничних мастильних шарах, що призводять до їх самоорганізації.

Література

1. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.

2. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 240 с.

3. Березняков А.И. О влиянии полярных молекул смазочного материала на силу трения // Трение и износ. – 2001. – Т.22., №5. – С. 513–519.

4. Старение смазочных материалов / Кимисима Таканао // Пуранто эндзиния = Plant Eng. – 1990. – 22, №7. – С. 64–68.

Бойко М.Н., Горбунов Д.А., Кривощеков В.Е.
Национальный университет «Одесская морская академия»,
Учебно-исследовательский Центр «Надежность
в судоходстве», Одесса, Украина

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

В настоящем докладе, представлены результаты дальнейших исследований по реализации концепций рециклинга и реновационного производства в различных отраслях мировой индустрии, включая судостроение и судоходство, по данным открытых публикаций и авторских разработок [1]. Показано, что на данный момент ремонт (repair) реновация (renovation, renewal, recovery) находящейся в эксплуатации техники и ее элементов становяться частью глобального процесса рециклинга (recycling) – современной «зеленой индустрии» и эффективно реализуются в экономически развитых странах.

Утилизация отслуживших свой срок морских торговых судов и военных кораблей, как последняя, но не заключительная часть/этап реализации принципов рециклинга любой техники, является актуальной во всех странах мира и на всех побережьях мирового океана. Принятая в мае 2009 года в Гонконге международная конвенция ИМО по рециклингу судов - HongKong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships, 2009 (HONG KONG SRC 2009) и уже накопленный практический опыт до и после имплементации ее положений в осуществление этого рода бизнеса в различных индустриях многих промышленно развитых стран, в первую очередь в США, обусловили появление как международных и региональных, так и национальных стандартов по регуляции этого вида деятельности. Международная организация по стандартизации (ИСО), например, уже разработала и выставила на мировой рынок целую группу стандартов серии ISO 30000. Ships and marine technology – Ship recycling management systems…, акцентируя внимание в первую очередь на системах менеджмента в этой сфере, что, само по себе и является первичным. Наш «большой и северный сосед» – Россия с 2014 г. внедряет свой национальный **стандарт** ГОСТ Р ИСО 30000-2013. Суда и морские технологии. Системы менеджмента утилизации судов. Технические требования к системам менеджмента предприятий по безопасной и экологически рациональной утилизации судов на базе ISO 30000:2009. Ships

and marine technology. Ship recycling management systems. Specifications for management systems for safe and environmentalty sound ship recycling facilities. О реализации идеи и принципов рециклинга любого вида техники/машин, включая такой этап, как утилизация, в Украине остается только мечтать, хотя некоторые научно-методические разработки этой проблемы в украинском городе корабелов – в Николаеве имеются [1].

В 2013 году в странах Европейского Союза (ЕС) усилиями Европейской комиссии (ЕК) приняты Правила об утилизации судов (EU SRR - Ship Recycling Regulation), согласно которым демонтаж судов под флагами стран — членов Евросоюза должен осуществляться только на предприятиях, включенных в соответствующий список. Об этом сообщает World Maritime News. Список утвержден 19 декабря 2016 года. В первую версию списка вошли 18 верфей, располагающихся в Латвии, Литве, Польше, Дании, Бельгии, Нидерландах, Франции, Португалии и Великобритании. Эти предприятия получают исключительное право разделки судов, которые принадлежат странам — членам Евросоюза. Согласно заявлению Еврокомиссии, на включение в список были также получены запросы верфей из стран, не входящих в ЕС. Эти заявки будут рассмотрены в 2017 году. В меморандуме, опубликованном ранее, ECSA — European Community Shipowners Associations — Объединение ассоциаций судовладельцев Европейского сообщества призвала к скорейшей ратификации Гонконгской Конвенции IMO HONG KONG SRC 2009. Конвенция направлена на то, чтобы в конечном итоге обеспечить экологически чистый демонтаж судов после окончания срока их службы и исключить риск здоровью персонала при их разделке, учитывая при этом интересы безопасности судна, охраны окружающей среды и потребностей международной торговли. Конвенция применяется к судам вместимостью 500 и более рег. тонн, но до сегодня еще не вступила в силу. Патрик Верховен, Генеральный секретарь ECSA, заявляет: – «Мы должны сделать все возможное, чтобы Гонконгская Конвенция была ратифицирована как можно скорее». Согласно ECSA, процесс ратификации застопорился в связи с вступлением в силу критериев Конвенции, которые требуют, чтобы основные страны флага судов и страны, которые занимаются утилизацией судов, соответствовали условиям Конвенции IMO HONG KONG SRC 2009, что привело к тому, что обе стороны выжидают, кто сделает первый шаг. Таким образом, Европейские судовладельцы поддерживают Европейскую комиссию в стимулировании всех государств-членов IMO ратифицировать Кон-

венцию. Судовладельцы ЕС считают, что Регламент ЕС об утилизации судов, принятый в 2013 г., может стать ценным инструментом в поднятии крупнейших в мире верфей для утилизации судов до стандартов IMO HONG KONG SRC 2009, позволяя им подать заявку на включение в, так называемый, список одобренных ЕС верфей для утилизации судов, где суда под флагами ЕС, уже могут быть разделаны. Патрик Верховен заявлял и ранее (в 2015 году), что Европейская Комиссия должна утвердить процедуру включения, которая позволит всем верфям мира для утилизации судов подать заявление о включении их в европейский список. Это может стать сильным стимулом для них, чтобы изменить и улучшить свою работу и приблизиться к уровню качества по требованиям, изложенным в Конвенции IMO HONG KONG SRC 2009. В ECSA утверждают, что судовладельцы должны обеспечить надлежащую утилизацию своих судов, особенно в течение переходного периода до вступления в силу Конвенции IMO HONG KONG SRC 2009 и Правил EU SRR. К слову, эта Конвенция вступает в силу через 24 месяца после даты, на которую будут выполнены следующие условия: 1) не менее 15 государств подписали ее без оговорки относительно ратификации, принятия или утверждения, либо сдали необходимый документ о ратификации; 2) общая валовая вместимость торговых судов этих государств составляет не менее 40 процентов валовой вместимости судов мирового торгового флота; 3) суммарная годовая мощность предприятий для утилизации судов государств, упомянутых в пункте 1, в течение предшествующих 10 лет, составляли не менее 3 процентов от валовой вместимости торгового флота этих государств.

В заключении отметим, что экономические и экологические проблемы во всем мире, их конвенционная и законодательная обеспеченность обусловливают интерес, в частности, и к реновационному производству (хотя оно и так уже достаточно развито), и (это главное) к эффективному и результативному решению общей задачи рециклинга техники на всех этапах ее жизненного цикла [1-5]. Реализация концепции глобального процесса рециклинга (recycling) – современной «зеленой индустрии» и его неотъемлемой части - реновационного производства в рамках мировых трендов «бережливого производства» (Lean Production) и устойчивого развития всех сфер мировой экономики (Sustainable Development) в значительной степени снижает напряженность обозначенных проблем. И этим процессам в прогрессе мировой индустрии, включая судостроение и судоходную отрасль, нет сегодня альтернативы.

Литература

1. Кривощеков В.Е. Третий сборник научных трудов по менеджменту качества / надежности / безопасности. – Одесса: УАЯ-КВЕ, 2012. – 149 с.

2. Болонкин А.А. Прорыв в бессмертие. – Режим доступа: http://members.nbci.com/Bolonkin/index.html, 2004.

3. Магда О.А., Кривощеков В.Е. Экологические проблемы современной мировой индустрии и некоторые актуальные пути их разрешения // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Мат. 16-го Международ. науч.-техн. семинара, 22–26 февраля 2016 г., г. Свалява, Карпаты. – К.: АТМ Украины, 2016. – С. 57–59.

4. Кривощеков В.Е. Это сладкое слово «РЕМОНТ»…// Там же.- С. 36–39.

5. Кривощеков В.Е. Рециклинг морских судов в мире и в Украине // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 15-й Международ. науч.-техн. конф., 01–05 июня 2015, г. Одесса. – К.: АТМ Украины, 2015. – С. 89–93.

Бондаренко Ю.К., Артюх К.О., Логінова Ю.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
НАН України, Київ, Україна

АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ І МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ КОНСТРУКЦІЙ

Сьогодні, коли всі континенти зачепили кризові явища, якість стає особливо затребуваною. Відповідно зростає роль Національних організацій якості, від активності й професіоналізму яких залежить розвиток національних рухів за якість і, як наслідок, соціально-економічний стан в країнах. Цим визначається актуальність їх підтримки з боку урядових інституцій.

Особливо хочеться відзначити значну роботу, що проводить в Україні, а також у регіоні країн Центральної та Східної Європи (ЦСЄ) Українська асоціація якості (УАЯ).

З огляду на особливу актуальність проблеми щодо забезпечення конкурентоспроможності організацій і економіки України на сучасному європейському шляху розвитку в 2016 році УАЯ, провела на базі Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана Університету Науково-практичну конференцію.

В роботі Конференції, яка проходила в межах 25-го Міжнародного форуму «Дні якості в Києві» та була присвячена Всесвітньому дню якості, взяли участь близько 200 представників всеукраїнських громадських об'єднань, керівників і фахівців підприємств і організацій, вчених, викладачів та студентів ВУЗів, ЗМІ.

З метою прискорення перетворення вітчизняних підприємств, організацій і установ на соціально спрямовані, забезпечення їх ділової досконалості й конкурентоспроможності, а також створення умов для суттєвого підвищення конкурентоспроможності економіки України в цілому на базі конференції було проведено три сесії:

- європейський шлях розвитку України: стан, проблеми та перспективи;
- удосконалення систем менеджменту на базі сучасних концепцій досконалості;
- удосконалення систем менеджменту на базі міжнародних стандартів.

Заслухавши та обговоривши інформацію, що була висвітлена у 16-ти доповідях, учасники Конференції відзначили:

1. Стан економіки України є вкрай незадовільним і продовжує погіршуватися.

2. Ситуація загострюється тим, що при сучасному розвитку світової науки і технологій звична для нас конкуренція товарів (послуг) втрачає свою вагу; натомість все жорсткішою стає конкуренція моделей та систем управління (менеджменту). Набирає силу 4-та промислова революція, яка для української економіки може мати згубні наслідки.

3. Через хибні рішення у сфері якості, ділової досконалості і конкурентоспроможності, які закріплені у ряді державних нормативних документів (перш за все у Концепції державної політики у сфері управління якістю продукції), український бізнес і суспільство в цілому дезорієнтовані. Це знайшло відображення і у навчальних програмах ВУЗів, що призвело до тотальної недостатньо досконалої підготовки фахівців з менеджменту.

4. Уряд, зорієнтований переважно на продукцію та на зовнішню допомогу, організовує в країні певну боротьбу з корупцією, дерегуляцію бізнесу, гармонізацію вітчизняних регламентів і стандартів з європейськими нормами, але, при цьому, не приділяє уваги виправленню зазначеної вище ситуації в частині якості і ділової досконалості та не сприяє вітчизняним підприємцям у вдосконаленні на засадах сучасних підходів та кращих практик у сфері системного менеджменту. І це при тому, що всі країни-світові лідери на етапі промислової трансформації приділяли суттєву увагу навчанню своїх підприємців передовому досвіду, зокрема щодо ефективного управління.

5. В умовах невірного розуміння переважною більшістю вітчизняних чиновників та підприємців що треба зробити, аби мати шанси на забезпечення конкурентоспроможності українських підприємств і економіки на глобальному насиченому ринку, самі інвестиції і кредити, гармонізація вітчизняних технічних регламентів і стандартів з європейськими та дерегуляція бізнесу нам не допоможуть.

Учасники Конференції вирішили:

Зважаючи на фундаментальне значення, складність та системність визначеної проблеми для забезпечення конкурентоспроможності українських підприємств і економіки в умовах глобального насиченого ринку та беручі до уваги швидке розповсюдження наслідків 4-ї промислової революції рекомендується:

- якнайшвидше зробити підвищення ділової досконалості пріоритетом у роботі та особисто проініціювати невідкладне вжиття заходів, скерованих на суттєве поліпшення якості державного управління, зокрема із застосуванням-напрацювань в частині системного менеджменту та відповідним доопрацюванням Стратегії реформування державного управління;
- розробити і прийняти концепцію державної політики у сфері системного менеджменту, передбачивши активне сприяння з боку влади вітчизняним підприємствам у вдосконаленні на засадах сучасних підходів та кращих практик;
- розробити і прийняти концепцію державної політики у сфері якості продукції (робіт, послуг), включивши до неї такі напрями діяльності, як; стандартизація, технічне регулювання, метрологічне забезпечення, ринковий нагляд тощо;
- доручити Міносвіти України забезпечити виправлення «перекосів» у підготовці фахівців з якості і системного менеджмен-

ту та сприяти широкій перепідготовці персоналу (перш за все, керівників держави найвищого рівня);

- передбачити проведення аналізу та відповідне доопрацювання Стратегії сталого розвитку «Україна-2020» з урахуванням необхідності суттєвого удосконалення діяльності, як суб'єктів підприємництва, так і державних інституцій.

Проведений аналіз показав, що вивчення ризиків, яке проводиться на етапі проектних робіт, таке як оцінка ризиків і працездатності (HAZOP) дозволяє визначити аспекти безпеки та екології, які можуть стати причиною затримки проекту або додаткових витрат на проект. Отже, багато клієнтів зацікавлені в оцінці ризиків на більш ранніх етапах розробки, для того щоб такі ризики можна було зменшити або зовсім вилучити.

Встановлено що, дослідження HAZID – це інструмент розпізнавання ризиків, який використовується на ранніх стадіях проекту, відразу після створення креслень, розрахунку матеріального балансу і підготовки схеми ділянки. Також необхідна наявна інформація по інфраструктурі, погодних умов і геотехнічних даними, оскільки ці аспекти є Потенційними джерелами зовнішніх ризиків.

Цей метод є інструментом ескізного проектування і спрямований допомогти в організації аспектів HSE, які можна поліпшити в рамках проекту. Техніка систематизованого мозкового штурму зазвичай включає технічні дисципліни розробника і персоналу клієнта, управління проектом, введення в експлуатацію та саму експлуатацію. Отримані важливі дані і рейтинги ризиків допомагають досягти відповідності Вимогам HSE і сформувати частину Реєстру Ризиків, наявність якого вимагають багато ліцензуючих органів.

Організоване дослідження HAZID дозволяє правильно визначити ризики і заходи безпеки на ранніх стадіях розробки проекту. Результати таких досліджень допоможуть переконатися в тому, що:

- ризики в області HSE виявлені ще на ранній стадії проекту, не встигнувши спричинити за собою істотні витрати;
- ризики позначені і вжиті заходи щодо їх усунення, зниження або, як мінімум, вони враховані при розробці;
- діяльність, яка здійснюється для усунення ризиків, підлягають перевірці з боку керівництва і державних інспекцій;
- припинення і порушення термінів розробки і будівництва вилучені.

При цьому було мінімізовано кількість невиявлених ризиків, які можуть виникнути при введенні в експлуатацію і подальшу експлуатацію виробів в зварювальному виробництві.

Технічні регламенти для зварювального виробництва, розроблені на основі актів європейського законодавства:

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.08.2008 № 748 "Про затвердження Технічного регламенту водогрійних котлів, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі".
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.11.2008 № 967 "Про затвердження Технічного регламенту пересувного обладнання, що працює під тиском".
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.2009 № 268 "Про затвердження Технічного регламенту безпеки простих посудин високого тиску".
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 19.01.2011 № 35 "Про затвердження Технічного регламенту безпеки обладнання, що працює під тиском".
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.04.2009 № 465 "Про затвердження Технічного регламенту ліфтів".

Міжнародний стандарт ISO 4063 розроблений технічним комітетом ISO/TC 44 «Зварювання та споріднені процеси», підкомітетом ПК 7 «Терміни та визначення».

Четверте видання ISO 4063:2009 скасувало та замінило третє видання (ISO 4063: 1998), яке піддалося технічному перегляду.

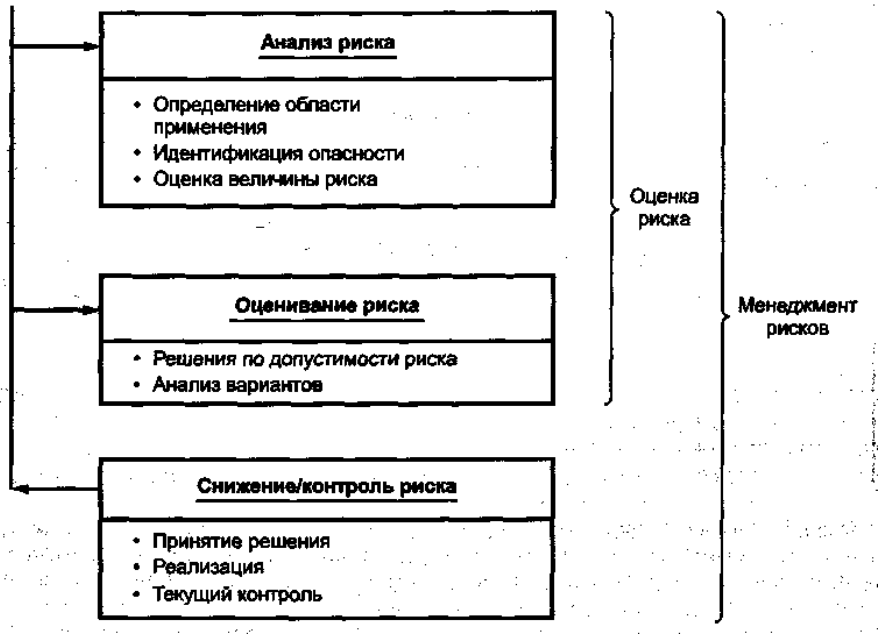


Рисунок 1 – Співвідношення між аналізом ризику і іншими діями з управління ризиком

В результаті перегляду в ISO 4063:2009 оновлено перелік процесів зварювання, вилучено зайві і застарілі умовні позначення процесів, які були включені в ISO 4063:1998. Однак для зручності користувача застарілі умовні позначення збере-

жено. Наведено загальноприйняті позначення для зварювальних і споріднених процесів. Стандарт гармонізовано на Україні – ДСТУ ISO 4063:2014 «Зварювання та споріднені процеси. Перелік і умови позначення процесів». Загальний процес аналізу ризику та оцінювання ризику (рис. 1).

Оцінка ризику включає проведення аналізу частот і аналізу наслідків. Незважаючи на те, що на рис. 2 документація зображена в якості окремого блоку, вона розробляється на кожній стадії процесу. Залежно від області застосування розглядаються лише певні елементи представленого процесу. Наприклад, в деяких випадках може виявитися, що немає необхідності виходити за рамки початкового аналізу небезпеки та наслідків.

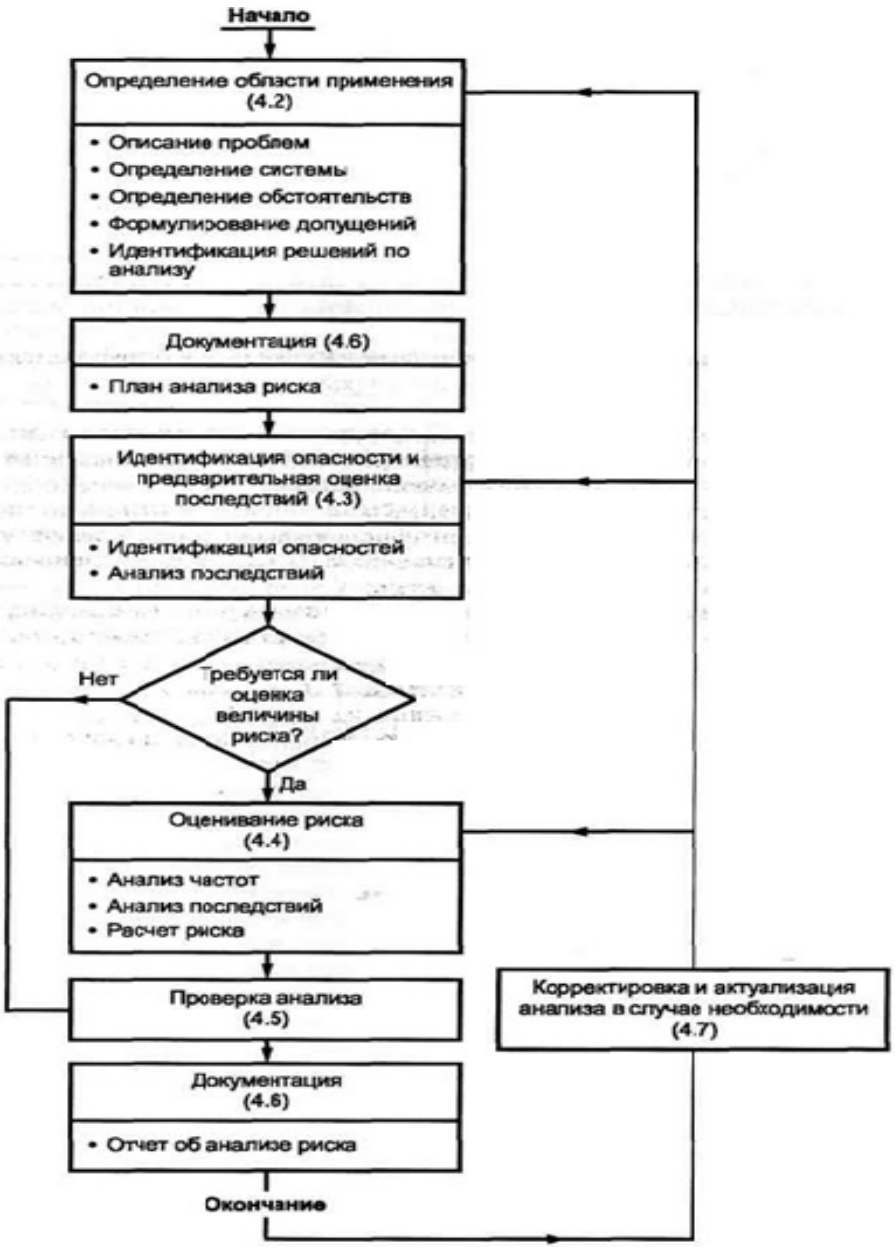


Рисунок 2 – Процеси аналізу ризику

Висновки.

- З метою управління ризиками необхідно впроваджувати технічні регламенти згідно Закону України «Про стандартизацію».
- Введення нової редакції ДСТУ ISO 4063:2014 допоможе швидкому введенню системи управління ризиками.

Бондаренко Ю.К., Логінова Ю.В., Артюх К.О.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
НАН України, Київ, Україна

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РОЗПІЗНАВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ І РАНЖУВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Успіх у справі оцінки та мінімізації ризиків гарантовано тим країнам, де поряд з хорошим законодавством має місце якісне інформаційне забезпечення, впровадження механізмів і поширення кращих практик з оцінювання ризиків.

Першочергово Європейський Союз – економічна асоціація, тому головне завдання цієї організації – інтегрування бізнесу європейських країн в одну спільноту. Слід зазначити, що важливою складовою інтеграції є питання охорони праці та збереження здоров'я працівників. Це один із тих ключових моментів економічної інтеграції, що важливий для всіх зацікавлених сторін, задіяних у процесі створення матеріальних цінностей, і передусім – для працівників.

Аналіз показав, що розвиваючись у рамках ринкової економіки, уряди країн спільноти повинні бути впевнені, що і ринок, і економіка будуть розвиватися відповідним чином – без нанесення шкоди здоров'ю людей, а також без травматизму і нещасних випадків на виробництві. Має бути прозора гарантія: якщо щось і сталося, то потерпілі будуть надійно захищені у рамках системи соціального захисту.

Звичайно, оцінювання ризиків важливе і для бізнесу – якщо роботодавці дбають про безпечні умови праці, вони гарантовано отримують постійний розвиток – як виробництва, так і бізнесу загалом.

Україна, як і будь-яка інша держава, зможе досягати довготермінових системних поліпшень тільки тоді, коли вона почне розвиватися, переважно, як суспільство творення, а не споживання і накопичення. Що всі наші потуги у глобальній конкурентній боротьбі економік стануть успішними, лише коли ми засвоїмо, що головними «багнетами» і в творенні, і на ринковому полі бою є безпосередньо підприємства (компанії, організації). Держава має створювати сприятливі умови для їх розвитку. Тільки підприємства формують додаткову вартість і здатні вирішити основні загальнодержавні проблеми, такі як конкурентоспроможність, ресурсозбереження, наповнення бюджету, створення робочих місць, боротьба з бідністю та

багато інших. І Україна тільки тоді зможе стати процвітаючою країною, коли стане процвітаючою переважна більшість її підприємств.

Мета і основні концепції аналізу ризику.

Аналіз показав, що ризик присутній в будь-якій діяльності людини. Він може стосуватися здоров'я і безпеки (враховуючи, наприклад, як негайні, так і довгострокові наслідки для здоров'я від впливу токсичних хімічних продуктів). Ризик може бути економічним, наприклад, що призводить до знищення обладнання та продукції внаслідок пожеж, вибухів або інших аварій. Він може враховувати несприятливі впливи на навколишнє середовище. Завданням управління ризиками є контроль, запобігання або скорочення загибелі людей, зниження захворюваності, зниження шкоди, шкоди майну і логічно витікаючих втрат, а також запобігання несприятливого впливу на навколишнє середовище.

Дослідження встановили, що для підвищення ефективності управління ризиками необхідно проводити попередній аналіз ризику, що включає:

- ідентифікацію ризику і визначення підходів до вирішення пов'язаних з ним проблем;
- використання об'єктивної інформації при прийнятті рішень в зварювальному виробництві;
- задоволення регламентованих вимог до ризику.

Результати аналізу ризику можуть використовуватися фахівцем, який приймає рішення при оцінці допустимості ризику, а також при виборі між потенційними заходами щодо зниження або усунення ризику. З точки зору фахівця, що приймає рішення, до основних переваг аналізу ризику відносяться:

- систематична ідентифікація потенційних небезпек конструкції;
- систематична ідентифікація можливих видів відмов при експлуатації;
- кількісні оцінки або ранжування ризиків;
- оцінка надійності можливих модифікацій системи для зниження ризику і досягнення бажаних рівнів її надійності;
- виявлення факторів, що обумовлюють ризик, і слабких ланок в системі виробництва;
- більш глибоке розуміння пристрою і функціонування системи;
- зіставлення ризику досліджуваної системи з ризиками альтернативних систем або технологій на підприємстві;
- ідентифікація і зіставлення ризиків і невизначеностей;

- допомогу у встановленні пріоритетів при вдосконаленні санітарних вимог і норм;
- формування бази для раціональної організації профілактичного обслуговування, ремонту і контролю зварної конструкції;
- забезпечення можливості поставарійного розслідування і заходів щодо попередження аварій на виробництві;
- можливість вибору заходів і прийомів щодо забезпечення зниження ризику.

Всі ці фактори відіграють важливу роль в ефективному управлінні ризиками незалежно від того, які завдання розглядаються (охорона здоров'я, безпека, запобігання економічних втрат, забезпечення виконання вимог постанов уряду і т.п.).

Аналіз може охоплювати такі галузі спеціальних знань, як:

- системний аналіз;
- ймовірність і статистика;
- машинобудування, електротехніка, будівельна техніка або ядерна техніка.

Розмова про четверту індустріальну революцію або «індустрію 4.0» ведеться ще з 2011 року. Саме тоді почалося активне обговорення нової технологічної ери, яка, по суті, мінімізує внесок людської праці в виробничі процеси, а також значно спростить життя на побутовому рівні за рахунок «розумних» гаджетів і рішень.

Сьогодні ж, як зійшлися на думці учасники форуму, переломний момент нової індустріальної епохи як ніколи близький. Наприклад, засновник давоського форуму Клаус Шваб впевнений, що вже в найближчому майбутньому світ опиниться в полоні у штучного розуму, а такі технології як 3D-друк, синтетична біологія, НК, ТД та й в цілому поняття «інтернет-речей», коли всі пристрої, якими користується людина, інтегровані в єдину еко- і цифрову систему, стануть нормою життя.

«Інженери, дизайнери та архітектори будуть використовувати машинне проектування, розробку матеріалів і синтетичну біологію, щоб домогтися симбіозу між мікроорганізмами, нашими тілами, споживаними продуктами і навіть нашими будинками», говорить Шваб. Наприклад, згідно з даними, озвученими в Давосі, вже до 2025 року 10% носитимуть одяг, підключений до Інтернету, а 5% товарів повсякденного вжитку будуть надруковані на 3D принтерах.

Відповідно, всі ці процеси дають колосальні можливості для економік багатьох країн. Але тільки за умови, що вони зможуть

реалізувати свій людський потенціал, освоїти нові технології і залучити необхідні для цього інвестиції, конструкції та НК і ТД.

Зараз, як свідчить статистика в зварювальному виробництві, має місце зростання нещасних випадків у сфері послуг. Нещодавно проведені дослідження у 36 країнах світу щодо найбільш небезпечних виробничих факторів, включно із сферою послуг, які показали, що в останній найбільш високі ризики, як не дивно, несуть так звані складні клієнти та конструкції. Це стало предметом серйозного обговорення і напрацювання нових підходів до вирішення даної проблеми.

Нові ризики виникають в тому числі при зміні технологій, що, в свою чергу, призводить до змін у зварювальному виробництві. Скажімо, впровадження нанотехнологій, різних нових матеріалів — це додаткові ризики і загрози для умов праці.

Наступний виклик для нас — зміна природи зайнятості. Люди змушені дуже часто змінювати місце роботи.

Як справляються в Європі з усіма ризиками та викликами? Завдяки законодавчій базі.

Директива 89/391/ЄЕС «Про введення заходів, що сприяють поліпшенню безпеки та гігієни праці працівників» — це рамкова директива, яка містить вимогу до всіх роботодавців оцінювати ризики та вживати заходів для попередження нещасних випадків і соціального захисту працівників.

У законодавстві ЄС є спеціальні визначення для особливих ризиків і запропоновано деякі рішення щодо них. Власне кажучи, сама ідея оцінювання була народжена роботодавцями. Вона полягала в тому, щоб перейти від системи, коли законодавство на кожному кроці диктує роботодавцю що робити, до системи, де бізнес і працівники визначають, яким чином працювати щодо оцінювання ризиків, запровадження запобіжних заходів і унеможливлений нещасних випадків.

У свою чергу, законодавством чітко не визначено, що таке та чи інша небезпека, але водночас передбачено, що один із кращих превентивних заходів – поширення інформації, обізнаність з цих питань працюючих і бізнесменів, а також надання інформації про найкращі практики. Своєрідний обмін досвідом: що працює для запобігання нещасним випадкам, а що не працює.

Якщо підсумувати зазначене, оцінювання ризиків є ключовим моментом для створення здорових, безпечних робочих місць, який складається з визначення небезпек, існуючих ризиків, шляхів їх запобігання. Звичайно, ми виходимо з того, що технологічно немож-

ливо уникнути всіх ризиків, у тому числі всіх ризиків на зварювальному виробництві. Але потрібно провести плідну колективну дослідну роботу щодо їх запобігання усунення, і не тільки на конкретному робочому місці, а й на виробництві загалом (рис. 1).

Рисунок 1 – Ієрархія запобігання та ранжування на зварювальному виробництві

Ще один із напрямів запобігання нещасним випадкам на виробництві — навчання з питань охорони праці, яке потрібно проводити для всіх без винятку працівників. Говорячи про навчальний процес, маємо на увазі й консультації. Тому що питання запобігання ризикам вимагає консультацій, які повинні проводити не тільки менеджмент чи управлінці, але й досвідчені працівники, які добре знають, з чим саме вони зіштовхуються щодня. Звісно, не треба забувати і про засоби індивідуального захисту.

Останнім часом все частіше окремі підприємства зварювального виробництва проводять оцінювання ризиків. Якщо аналізувати робочі місця з найкращими практиками безпеки праці та здоров'я, то на перший план випливають два ключові моменти — лідерство і бажання менеджменту вживати запобіжних заходів, а також безпосередня участь працівників у запровадженні цих заходів.

Країни ЄС по-різному впроваджують на практиці зазначену рамкову директиву. Немає «аксіоми» — жодного конкретного чи кращого підходу. Базуючись на зазначеному дослідженні, було встановлено, що в ЄС 76% бізнес-структур повідомляють, що регулярно оцінюють ризики, а 90% визнають таке оцінювання корисним. Політика безпеки (або щось подібне) існує на 90% підприємств країн-членів ЄС. Але різниця полягає в тому, яким чином ті чи інші підприємства використовують зовнішні ресурси для оцінювання ризиків.

Наприклад, у Великобританії, Данії та інших скандинавських країнах політика підприємств щодо запобігання нещасним випадкам на виробництві включає внутрішнє оцінювання ризиків на робочому місці. Водночас, зокрема, в Хорватії, для проведення оцінювання ризиків на робочих місцях залучають зовнішніх виконавців набагато частіше, ніж в інших країнах. Вважаю, що це важливий

момент, але треба пам'ятати, що ніхто не знімав з роботодавців їх обов'язку дотримуватися правил безпеки праці. Є думка, що коли оцінювання ризиків на виробництві виконують роботодавці, це найпростіший шлях уникнути ризиків.

Висновки:

1. Щодо деяких ризиків важко оцінити, скільки буде коштувати їх усунення і як це ув'язується з тим, окупиться їх відсутність чи ні.

2. Успіх в оцінюванні та мінімізації ризиків гарантований тим країнам, де поряд з хорошим законодавством мають місце якісне інформаційне забезпечення, впровадження механізмів і поширення кращих практик з оцінювання ризиків.

3. Особливо ефективним для зварювального виробництва в Україні є впровадження гармонізованого стандарту ДСТУ ISO 9001:2015.

Боримский А.И. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

МАЛОГАБАРИТНЫЙ АППАРАТ ТИПА «БЕЛТ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В настоящей работе представлен малогабаритный аппарат типа «белт» мод. ЦТ-5 – один из гаммы разработанных в Институте сверхтвердых материалов имени В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ) аппаратов для создания высокого давления и высокой температуры, характеристики которых представлены в табл. 1.

Малогабаритный аппарат мод. ЦТ-5 предназначен для синтеза СТМ и спекания поликристаллов на их основе, а также для исследования влияния высокого давления и высокой температуры на свойства различных материалов.

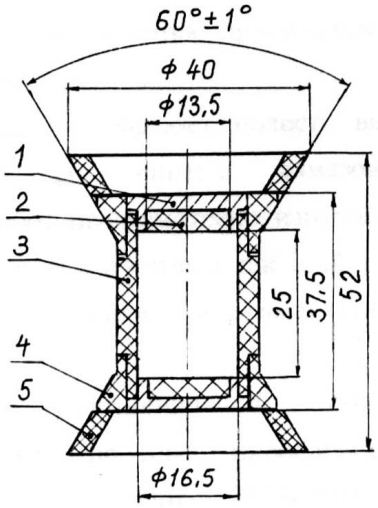


Рисунок 1 – Контейнер аппарата типа «белт» мод. ЦТ-5:
1 – токоподвод; 2 – вставка; 3 – втулка; 4 – деформируемое уплотнение; 5 – муфта

Схема контейнера аппарата мод. ЦТ-5 представлена на рис. 1, а некоторые из его калибровочных графиков – на рис. 2 и 3. Аппарат типа «белт» мод. ЦТ-5 и основные его узлы представлены на рис. 4.

Таблица 1 – Техническая характеристика аппаратов типа «белт» конструкции ИСМ

Показатель	Размер-ность	Модель аппарата			
		ЦТ-5	ЦТ-12	ЦТ-30	ЦТ-50
Давление	ГПа	5–7	5–6		
Температура	°С	1200–1500			
Диаметр отверстия в матрице	мм	24	40	60	75
Рабочий объем	$см^3$	17	78	260	510
Реакционный объем		5	26	87	170
Выход алмазов за 1 рабочий цикл	карат	10	40	150	300
Габаритные размеры:	мм				
диаметр		290	645	1050	1300
высота		220	500	720	900
Масса	кг	75	1010	2800	5400

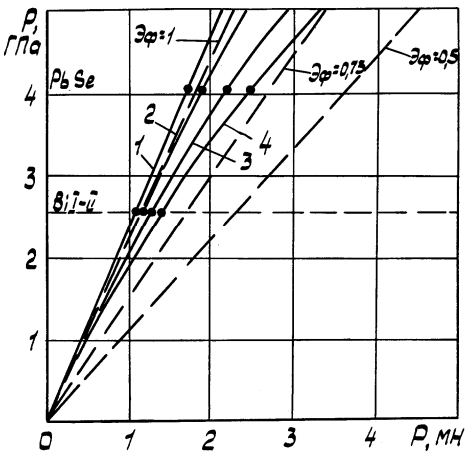


Рисунок 2 – Калибровочные графики АВД. Давление измерялось на торце (1, 2) и в центре (3) образца из реакционной шихты:
1 – H = 35,0 мм, h =11,7 мм;
2 – H = 37,5 мм, h = 12,9 мм;
3 – H = 37,5 мм, h = 12,9 мм

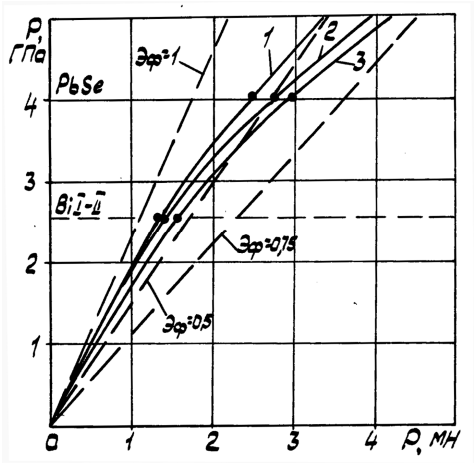
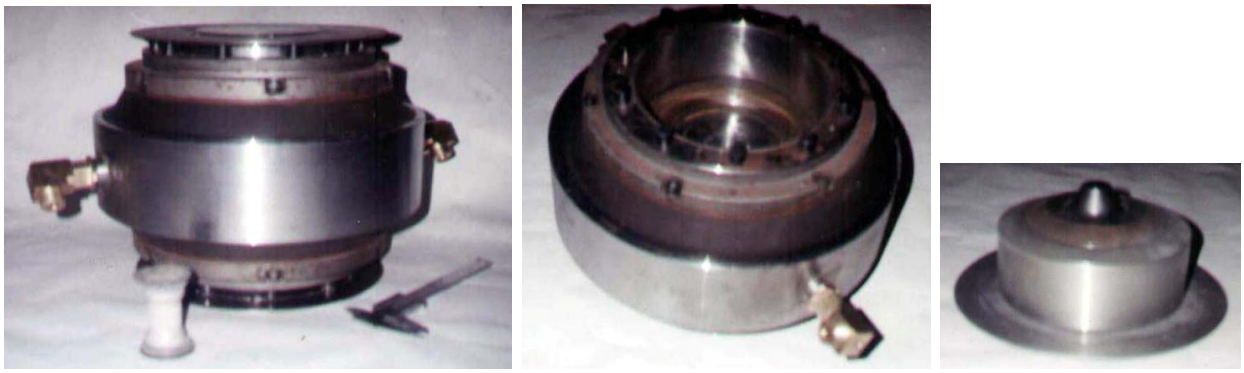


Рисунок 3 – Калибровочные графики АВД с различными диаметром рабочего торца пуансонов и массой брикета из реакционной шихты: 1 – диаметр 19 мм, масса брикета 11 г; 2 – диаметр 19 мм, масса брикета 10 г; 3 – диаметр 19 мм, масса брикета 7 г; 4 – диаметр 21 мм, масса брикета 9 г



а *б* *в*

Рисунок 3 – Аппарат типа «белт» мод. ЦТ-5 в сборе (*а*), и основные его узлы (*б*, *в*)

Боримський І.О. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ЩІЛЬНИХ МОДИФІКАЦІЙ НІТРИДУ БОРУ ПРИ ВИСОКОМУ ТИСКУ І ВИСОКІЙ ТЕМПЕРАТУРІ (ОГЛЯД)

Залежно від механізму перетворення, способи отримання cBN із BN при високих *p*, *T*-параметрах можна розділити на дві великі групи. Так cBN може бути отриманий або в результаті прямого перетворення hBN→cBN (без застосування будь-яких добавок), або кристалізацією із розчину в розплаві багатокомпонентних систем, які містять бор і азот.

Перетворення hBN в щільні модифікації BN може протікати як по мартенситному (при високих температурах), так і по дифузійному (при більш низьких температурах) механізмах [1]. Перетворення як по дифузійному, так і по мартенситному механізмах має місце при перетворенні hBN→cBN, в той час як перетворення hBN→wBN, rBN→cBN і rBN→wBN можливі тільки по мартенситному механізму.

Тиск прямого фазового перетворення hBN→cBN значно перевищує рівноважне значення із-за необхідності подолання високого активаційного бар'єру. Так тиск початку прямих фазових переходів в експериментах Банді і Венторфа [2] складав 11,5–13,0 ГПа.

Пізніші дослідження показали, що пороговий тиск прямого фазового перетворення hBN→cBN залежить від часу синтезу та структури hBN і в окремих випадках прямий перехід може бути здійсне-

ний при значно нижчих тисках. Так при використанні субдрібнодисперсного аморфізованого hBN пряме фазове перетворення hBN→cBN можливе при тиску 6 ГПа і температурі 800 °С [3].

При використанні hBN, який виготовляється в умовах промислового виробництва, пряме фазове перетворення hBN→cBN можливе при тисках, не менше 7 ГПа, і температурах не менше 1800 °С [4–6].

Необхідність перевищення порогових параметрів переходу над рівноважними обумовлена кінетичною утрудненістю утворення зародків cBN в матриці hBN, яка обумовлена необхідністю перебудови планарних sp^2-гібридних зв'язків в hBN в тетраедричні sp^3-зв'язки в cBN [5]. В результаті такого перевищення утворюється велика кількість зародків cBN, що призводить до утворення дрібнозернистого продукту синтезу.

На практиці способи отримання cBN шляхом прямого перетворенням не використовуються, так як вони не є економічними внаслідок необхідності використовувати для їх здійснення високі *p*,*T*-параметри.

Перетворення hBN→cBN при більш низьких параметрах порівняно з необхідними при прямому перетворенні можливі при хімічному руйнуванні міжатомних зв'язків у hBN за допомогою різних речовин, які не утворюють із нітридом бору міцних хімічних сполук і виконують функцію ініціаторів перетворення [7].

Поряд із хімічним впливом на перехід hBN→cBN, речовина-ініціатор перетворення повинна забезпечувати утворення стійкої рідкої фази в ростовій системі, яка служить середовищем для розчинення-перекристалізації BN в процесі утворення кристалів cBN.

У випадках, коли при синтезі cBN використовують ініціатори перетворення, які не утворюють рідкої фази (вода, іміди та аміди, аміак, нітрид алюмінію, оксид цинку тощо), отримують лише дрібнодисперсні утворення cBN [7]. На практиці, синтез cBN при високих *p*,*T*-параметрах здійснюють переважно шляхом кристалізації із розчину hBN у розплавах, які утворюються в ростових системах різних складів. У своїй основі вказаний спосіб отримання кристалів cBN вперше був запропонований Венторфом [8] і практично не змінився до теперішнього часу.

Так, згідно Венторфу, механізм утворення cBN в системі Li–BN полягає в утворенні вільного комплексу $Li_3N{\cdot}3BN$, який в розплавленому стані розчиняє hBN. З комплексу, який утворився в процесі синтезу, виділяється cBN.

Вказаний механізм утворенняcBNнадалібув поширений іна інші системиM–BN іM_xN_y–BN, де M–Li, Mg, Ca та інші метали [9]. Було показано, що висока ступінь перетворення hBN→cBN в зазначених системах при високих *p*, *T*-параметрах пов'язана із протікання хімічних реакцій, в тому числі і зворотних, які призводять до утворення комплексних борнітридів. З одного боку, перебіг таких реакцій призводить до швидкого розчинення hBN, а з іншого боку – при розкладанні подвійних борнітридів в області термодинамічної стабільності cBN по реакції

$$nM_xN_y + mBN \rightarrow (M_xN_y)_n(BN)_m \rightarrow \{(M_xN_y)_n(BN)_{m-1}\} + BN$$

«молекули» BN, які утворюються, «полімеризуються» із утворенням кластерів зі структурою cBN.

В роботі [9] так само запропоновано розглядати подвійні борнітриди як найбільш перспективні речовини для отримання кристалів cBN. Хімічні реакції, які мають місце при розчиненні hBN в розплавах, які утворюються при синтезі кристалів cBN, залежать як від складу розплавів, так і від *p*,*T*-параметрів процесу синтезу.

Встановлено [10], що наявність в ростовій системі рідкої фази різко знижує активаційний бар'єр перетворення hBN→cBN і зменшує значення *p*, *T*-параметрів, необхідних для синтезу cBN.

Утворення кристалів cBN обумовлене різницею розчинності метастабільного hBN і стабільного cBN в евтектичному розплаві, пересиченому щодо cBN. У результаті, із пересиченого розчину BN в розплаві виділяються і ростуть кристали cBN. Обов'язковою умовою такої кристалізації є наявність стабільної рівноваги кубічної фази з розплавом, а сама кристалізація стає можливою при температурах, які перевищують температуру евтектичних або перетектичних реакцій за участю BN.

Ріст кристалів cBN відбувається по мірі просування розплаву в оточуючу їх матрицю із hBN.

Розміри і форма кристалів, які ростуть в обмежених умовах [11], визначається швидкістю утворення центрів кристалізації cBN і швидкістю їх росту. У початковий період утворення кристалів cBN швидкість їхнього росту підпорядковується звичайному класичного закону [12], але в міру розростання кристалічних агрегатів швидкість їхнього росту зменшується через ускладнення доставки молекул BN через розплав до зростаючих кристалів і зменшення навколо кристалів концентраційного пересичення.

В роботі [13] показано, що збільшення тиску призводить до збільшення швидкості спонтанного зародження і росту кристалів cBN і, як наслідок, до зменшення їхніх розмірів. Розмір кристалів, що утворюються, залежить від відхилення *p*,*T*-параметрів їхнього росту від рівноважних значень. Для отримання великих за розмірами та добре огранених кристалів cBN синтез необхідно вести поблизу лінії рівноваги.

У той же час треба враховувати, що ступінь перетворення hBN→cBN залежить від температури синтезу [14] і по мірі наближення до лінії рівноваги знижується.

Не дивлячись на те, що у даний час відсутня загальноприйнята модель фазового перетворення hBN→cBN у присутності металів та їх нітридів, експериментальні дані дозволяють зробити висновок про те, що найбільш прийнятним є механізм, запропонований Венторфом.

Література

1. Сверхтвердые материалы / И.Н. Францевич, Г.Г. Гнесин, А.В. Курдюмов и др. // Под общ. ред. И. Н. Францевича. – К.: Наук. Думка, 1980. – 296 с.

2. Bundy F. P., Wentorf R. H. Direct transitions hexagonal boron nitride in denser forms // J. Chem. Phys. – 1963. – V. 38, № 5. – P. 1144–1149.

3. Sumiya H., Iseki T., Onodera A. Ibid. – 1983. – V. 18. – P. 1203.

4. Францевич И. Н., Балан Т. Р., Бочко А. В. и др. Докл. АН СССР. – 1974. – V. 218. – P. 551.

5. Курдюмов А. В., Пилянкевич А. Н. Фазовые превращения в углероде и нитриде бора. – К. : Наук. думка, 1979.

6. Мазуренко А. М. Синтетические алмазы. // Научн.-произв. сб. – 1978. – № 3. – С. 3.

7. Лысанов В.С., Нешпор В.С., Фельдгун Л.И. Кристаллы нитрида бора: условия роста, структура, физико-химические свойства // ZhVsesKhimO-vaDIMendeleeva. – 1985. – V. 30, № 6. – С. 536–543.

8. Wentorf R. . Cubic form boron nitride // J. Chem. Phys. – 1957. – V. 226, № 4. – P. 956.

9. Бурдина К.П. Химические аспекты синтеза кубического нитрида бора: Авторефер. дис… д-ра хим. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2000. – 78 с.

10. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общ. ред. Н.В. Новикова. – К. : ИСМ им.

В.Н. Бакуля, ИПЦ “АЛКОН” НАНУ, 2003. – Т. 1 : Синтез алмаза и подобных материалов / Отв. ред. А.А. Шульженко. – 320 с.

11. Фельдгун Л.И. и др. // Тр. ВНИИ абразивов и шлифования. – 1974, № 15. – С. 12.

12. Кузнецов В.Д. Кристаллы и кристаллизация. – М.: Гос. изд.-во технико-теоретич. лит-ры, 1954. – 411 с.

13. Гомон Г.О., Ровша В.С., Шеманин В.И. Сравнительные исследования характера кристаллизации алмаза и кубического нитрида бора // Тр. ВНИИАШ. – Л. : НИИМАШ, 1975. – С. 50–59.

14. Гладкая И.С., Кремкова Г.Н., Слесарев В.Н. Влияние высоких давлений на пиролитический нитрид бора // Изв. АНСССР. Сер. Неорган. материалы. – 1981. – Т.17, №9. – С. 1603–1607.

Бояринова В.Г., Домуладжанова Ш.И., Курбанова У.С.
Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОТРАНСПОРТА

Эффективность многих сфер экономики Узбекистана в значительной мере зависит от развития автотранспортной системы и надежности автодорожной сети. Глава государства Ислам Каримов в своих выступлениях неоднократно отмечал значимость современных автомобильных магистралей для успеха экономических реформ.

После обретения независимости Узбекистан пересмотрел автотранспортную схему своей территории, переформатировал пространственный каркас и сформировал новые транспортные магистрали.

Тем самым была снижена зависимость республики от транспортных коридоров в северном направлении, обеспечивая выход на новые рынки. Построено и реконструировано 679 км автодорог, в том числе 489 км участков, входящих в состав международных транспортных маршрутов, и 190 км дорог государственного значения. Это позволило увеличить протяженность автодорог высшей категории на 557 км, общую длину мостов и путепроводов – на 2743 км. Сеть автомобильных дорог – важнейшая составляющая транспортной инфраструктуры. Ее эффективное функционирование

и устойчивое развитие являются необходимым условием для экономического роста, повышения уровня жизни населения.

Активная политика развития транспортных коридоров расширила и диверсифицировала схемы международных транспортных маршрутов для экспорта и импорта товаров, что привело к значительному увеличению внешнеторгового оборота. С 2005 года транспортный сектор Узбекистана становится одним из приоритетных направлений инвестиций. Около $7 млрд. было выделено на развитие транспортной инфраструктуры в 2011–2015 гг.

Новая «транспортная программа» Узбекистана на 2015–2019 гг. оценивается в $10 млрд. Ее основными направлениями является дальнейшее развитие 2400 км Узбекской национальной автомагистрали, строительство около 300 км дорог общего пользования, приобретение свыше 990 единиц новейшей дорожно-ремонтной техники. В Узбекистане, как результат экономической трансформации в средне- и долгосрочной перспективе, запускается совместный проект Программы развития ООН и Всемирного банка «Национальная стратегия структурных реформ Узбекистана на период до 2030» – «Видение–2030». В связи с этим 28 апреля 2015 года в Ташкенте состоялся расширенный диалог по вопросам развития транспорта и транзита в Узбекистане и Центральной Азии с привлечением руководителей и ответственных специалистов международных организаций, представителей дипломатического корпуса, национальных и международных экспертов. (См. Review.uz). Были обсуждены актуальные проблемы и их возможные решения развития автотранспорта. Кроме отраслевых интересов, в развитии сети дорог можно выделить геополитические аспекты, использование выгод транзитного положения, снижение транспортоемкости ВВП, обеспечение экологической безопасности и т.д.

Современный и эффективный транспортный сектор является важнейшей составляющей экономического развития. Ключевой стратегической задачей транспортной политики Узбекистана должно стать выстраивание транспортной системы так, чтобы обеспечить относительное снижение цен на транспортные услуги, оперативность, надежность и доступность услуг транспорта для хозяйствующих субъектов, диверсифицировать транспортные маршруты и стать связующим звеном в трансконтинентальных и региональных логистических схемах.

Развивающаяся экономика Узбекистана предъявляет новые требования к транспортному сектору. Расчеты показывают, что при со-

хранении текущих высоких темпов экономического роста (около 8% в год) на период до 2030 г. объем грузоперевозок будет расти примерно на 9,2% ежегодно и увеличится в целом в 4,4 раза – с 1387,3 млн. тонн в 2013 году до 6041,3 млн. тонн в 2030 г. Рост объемов грузовых перевозок потребует увеличения объема инвестиций в транспортный сектор экономики с 3,55% к ВВП (средний показатель за 2005–2012 гг.) до 4,6% к ВВП в 2030 году. Наряду с увеличением объемов инвестиций необходимо совершенствование институциональных вопросов (регулирование сектора, совершенствование тарифной политики), дальнейшая оптимизация транспортно-логистической системы, ориентированной на потребителя, в сочетании с повышением качества и расширением спектра услуг, дальнейшая диверсификация транспортных маршрутов для экспорта/импорта и транзита грузов. Обновление парка грузовых автомобилей в Узбекистане, по расчетам, требует увеличения их числа с 37 тыс. до не менее 120 тыс. в 2030 г. Значительное внимание в ходе обсуждений вопросов развития транспорта и транзита в Узбекистане и Центральной Азии было уделено интеллектуальному управлению транспортными системами.

В современных условиях требования к специалистам, занятым в сфере автотранспорта постоянно растут. И здесь слово за молодыми кадрами, у которых имеется огромный образовательный и творческий потенциал в сочетании со здоровыми амбициями. Молодежь составляет большую часть населения Узбекистана, и актуальность проблемы активизации ее роли в развитии автотранспортной отрасли не подвергается сомнению.

Современные молодые люди являются активными пользователями Интернета, следят за новинками автопрома, за мировыми брендами автомобилестроения. У них в силу особенностей возраста есть особая чуткость ко всему новому, гибкость и креативность мышления, острота восприятия, стремление к лучшему, более совершенному в техническом отношении, комфортному в пользовании и эстетичному внешне автотранспорту, они более мобильны, активны и любознательны, готовы учиться новому и по-новому. Программы обучения сегодня обязательно содержат дисциплины экологической направленности, что очень важно для внедрения новых технологий, отвечающих требованиям экологического контроля. Не секрет, что одна из наиболее актуальных проблем автотранспорта – это снижение отрицательного экологического воздействия на окружающую среду.

В глобальном масштабе автомобилестроение выходит за рамки отдельных стран. Оно превращается в «мировое» и размещается на территориях ряда государств, т.е. активно ведется политика экспортной и территориальной экспансии. В этих условиях оптимальное решение очевидно: встраивание национальной автомобильной промышленности в качестве территориального элемента в мировую автопромышленность путем привлечения транснациональных автомобильных корпораций как совладельцев. И здесь у молодежи есть преимущества, поскольку современные юноши и девушки наряду с профессиональными знаниями в области автомобилестроения, менеджмента обладают хорошим знанием иностранных языков, владеют компьютерными технологиями и способны активно включиться в реализацию любых проектов.

В условиях структурной перестройки экономики страны большое значение имеет расширение и углубление международного сотрудничества. К примеру, особо значима роль автотранспорта в возрождении Шелкового пути в сотрудничестве Европы и Азии, в развитии интеграционных процессов в Евразии. Это способствует интеграции национального транспортного комплекса в мировую и европейскую транспортную систему, достижению более высоких организационно-технических и социально- экономических результатов работы всех видов транспорта, в том числе и автомобильного. Таким образом, новые региональные объединения в Евразии могут оказывать влияние на развитие автотранспортной отрасли Узбекистана.

Социально-экономические реформы обусловили радикальные структурные изменения автотранспорта как отрасли. Вместе с тем, изменение системы хозяйственных связей, развитие внутренних и международных товарных рынков диктуют отрасли новые задачи, в связи, с чем открываются большие перспективы для молодых, энергичных специалистов. Процессы демократизации общества и либерализации экономики способствуют раскрытию накопленного в автотранспортной отрасли огромного потенциала, который в условиях централизованной плановой экономики использовался лишь в небольшой степени.

Автомобиль превращается в основное средство передвижения населения. И в этом прослеживается социальная роль автомобильного транспорта. Массовая автомобилизация уже оказывает заметное влияние на развитие территорий и населенных пунктов, на процессы торговли и потребления, на становление предпринимательства, на весь образ жизни многих узбекистанцев, особенно, молодых.

В целом ряде секторов автомобильному транспорту нет альтернативы. Это обеспечение розничной торговли, перевозки дорогостоящих и срочных грузов на малые и средние расстояния, транспортное обеспечение производственной логистики, малого бизнеса. Это именно те секторы, на развитие которых ориентирована экономическая политика Узбекистана.

Таким образом, эффективность развития автотранспорта во многом определит эффективность и темпы экономических реформ. Автомобильные дороги в республике являются одной из крупнейших базовых отраслей экономики, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Они объединяют все районы страны, что является необходимым условием ее территориальной целостности, единства экономического пространства. И именно поэтому для достижения поставленных перед народом Узбекистана высоких целей и реализации мощного потенциала страны, наши дороги должны соответствовать высоким стандартам. Решение этих задач во многом зависит от активности новых кадров – молодых грамотных специалистов, вооруженных современными знаниями.

Бугров Ю.Н., Лизогуб В.А. Московский
технологический университет, Москва, Россия

ВИХРЕВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В практике расширения применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения ремонтных и других работ может являться модернизация их на основе вихревых электродвигателей переменного тока.

В достаточно многочисленных отечественных и зарубежных БПЛА используют мини двигатели, как на горючем топливе, так и с малогабаритными электродвигателями как синхронных (СД) с роторами на постоянных магнитах, так и асинхронных двигателей (АД) с пустотелым ротором. Такие мини двигатели на горючем топливе или обычные электродвигатели типов СД или АД в БПЛА имеют значительный вес и габариты. Это связано, прежде всего, с их стальными конструкциями магнитопроводящих роторов и стато-

ров, а также с 2х - 4х лопастными винтами, что несколько снижает их к.п.д. и увеличивает общую массу и габариты.

Источниками энергии и питания в таких случаях служат, как накопительные емкости для горючего, так и аккумуляторные батареи с периодической перезарядкой. Такое исполнение БПЛА по существу имеет ряд ограничений в дальности полета и по времени пребывания их на небольших высотах.

В то же время вихревые источники энергии, дымовые кольца, торнадо и вероятно шаровые молнии, имеют значительно более эффективные природные характеристики, однако природа заложила в них, как известно, не всегда открытую и анализируемую форму преобразователей энергии, и более того, основательную «закрытость» для изучения их свойств для использовании этих природных явлений. При этом, вихревые источники энергии имеют признаки сбалансированного и устойчивого взаимодействия газопылевых, гидродинамических, электромагнитных и вероятно, комбинированных преобразователей энергии, например, в шаровых молниях, гравитационных и электромагнитных, как в природных явлениях, так и во многих изобретениях энтузиастов «вечных» двигателей [1, 2].

Таким образом, в основе вихревого преобразования энергии магнитного поля, например, для двигателя БПЛА, может быть предложена конструкция вихревого электродвигателя из кольцевого узла, конструктивно содержащего тороид с трехфазными обмотками на его внешней поверхности как статор СД и размещенного во внутренней его полости ротор с магнитной средой, например, нейтрального газа с магнитной пылью или жидкостью [3].

Другим вариантом преобразователя энергии магнитного поля может быть кольцевая конструкция АС, содержащая тороид с 2-х или 3-х фазными обмотками статора, размещенными на внешней поверхности тороида [4].

В таких вариантах вихревых электродвигателей они могут отличаться от обычных СД и АД, как в основах базовых характеристик, так и в особенностях конструктивного исполнения, например:

1. Устойчивость вихрей в роторном тороиде с вращением компонентов определяется их гироскопическими свойствами и взаимодействием между собой элементов, сохраняющих равновесие между векторами центростремительных и центробежных сил.

2. Формирование размеров и скорости кольцевого тороида, его возможного передвижения в пространстве, определяются скоростью вращения вихревых потоков магнитной среды или цилиндров с газо-

вой или жидкой средой, при вихревых преобразованиях на электромагнитной основе, а так же и частотой вращения магнитного поля.

3. Вихревой поток магнитного поля в кольце тороида может также формироваться статорными обмотками СД и АД, размещенными на цилиндрической внешней поверхности, тороида с векторами магнитной индукции Bijn. Каждая из соединенных между собой последовательно в каждой фазе по всей центральной оси тороида и n двухобмоточных индуктивных катушек, применительно к 3-х фазной системе управления СД, а АД по 3-х фазным обмотками [4–6].

4. Взаимодействие индукции Bijn элементарных гироскопических вихрей магнитной среды приводит к их вращению вокруг центральной оси тороида, и формированию уравновешенных парами сил $F – |F|$ гироскопического момента M. При этом условии ротор G общего момента M количества движения, содержащий n вихрей в тороиде, или уравновешивает общую массу $m + m_0$ (вес составляющих общей нагрузки), или превышает ее (режим антигравитации)

$$G \geq m + m_0 \tag{1}$$

где G – ротор суммарного момента количества движения всех n вихрей тороида; m – масса или вес составляющих n вихрей в тороиде из магнитной среды в полости внутреннего кольцо тора; m_0 – общая масса или вес оборудования БПЛА.

$$G = \sum_1^n rot\mathrm{M}_i = \sum_1^n rot\left[r_{ai} F_i\right] = \sum_1^n F_i r_{ai} / j_{3i\omega} \tag{2}$$

Т.о. по исходным размерным параметрам вихревых элементов r_{ai} и j_{3i}, а также принятой частоте ω, возможна оценка нагрузки БПЛА

$$\sum_1^n F_i r_{ai} / j_{3i}\omega \geq m + m_0 \tag{3}$$

где F_i – значение внешней силы, приложенной к точке центра вращения элементарного n-го вихря; r_{ai} – радиус вращающегося элементарного n-го вихря магнитной среды; j_{3i} – момент инерции элементарного n-го вихря магнитной среды; $\omega \leq f/2\pi$ – значение угловой скорости вращения вихревого потока магнитной среды, с частотой f фазного напряжения питания от внешнего регулирующего преобразователя для установленной частоты вращения n (об/мин) вращения ротора СД или АД.

$$n = f\,60/p \tag{4}$$

где p – число пар полюсов статорной обмотки.

5. Вихревой магнитный поток, в полости кольцевого тороида СД и АД, формируется на основе электромагнитного взаимодействия с заполненной магнитной газовой или жидкостной средой.

6. В обмотках, размещенных на цилиндрической поверхности обычных СД, АД, формируется вращающийся магнитный поток с векторами B_{111}, B_{121},…,B_{13n} и B_{211}, $B_{221,}$ …, B_{23n},, в плоскости перпендикулярной оси его вращения.

Образуются пары векторных сил (по три фазовые группы), которые при вращении сконцентрированы на вихревом магнитном энергетическом жгуте (МЭЖ) по всей кольцевой оси внутреннего тороида.

7. Внутренний пустотелый герметичный тороид, где вращается МЭЖ, должен быть заполнен магнитопроводящей газовой или нано-жидкостной средой, которая и является фактически ротором СД, АД [3].

8. Круговые двигатели (КИ) на основе вихревых потоков могут быть, например, на принципах взаимодействия переменного электромагнитного поля однофазных или трехфазных обмоток СД и АД и пустотелых металлических эллипсоидов в полости тороида, заполненного магнитопроводящей жидкостной или газовой средой и сохраняющими свойства к формированию вихревых потоков.

Суммарное воздействие всех вращающихся векторов индукции $B_{111,}$ $B_{121,}$ B_{131} …., B_{11n}, $B_{12n,}$ B_{13n}, …. ,B_{211}, $B_{221,}$ B_{231}, …. , B_{21n}, B_{22n}, B_{23n} на магнитную среду ротора со скоростью ω и общей массой m, формирует синхронное вращения этой массы и ротор общего момента количества движения $G \geq m$, что и устанавливает устойчивый режим антигравитации (1).

Известные версии конструкций «летающих тарелок», опубликованных в печати [2], несколько отличаются по конструкции от БПЛА с вихревым электродвигателем, однако их применение, в целом, оправдывает поисковые и расчетно – конструкторские работы в этих направлениях.

Таким образом, проведенный анализ БПЛА показывает, что их реализация может быть, как на базе газо- и гидро- динамических вариантах вихревых двигателей, так и на основе, промышленно освоенных технологий, электродвигателей современного машиностроения.

Литература

1. Бугров Ю.Н., Лизогуб В.А. О некоторых свойствах вихревых потоков для создания двигателей на их основе // Науч. тр. IV-й Международ. науч. конф. «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». – М.: ИМАШ им.

А.А. Благонравова РАН. – М.: ООО «Издательский дом «Спектр», 2015. – С. 69–71.

2. Патент США. Patents /110 /29 /2353547 /2353547 – 2.

3. Соколов В.В, Овчинников И.Э. Поглощение гидродинамических волн в магнитной жидкости // Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем: Ежегод. сб. науч. тр. – М.: Янус-К, 2009. – вып. 12, т. 1. – С. 162–169.

4. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высшая школа, ЛОГОС, 2000. – 365 с.

5. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: профессиональные решения. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2014. – 416 с.

6. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода. – М.: Изд. МЭИ, 2003. – С. 35–43.

Бурлаков В.И. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

На современном этапе развития машиностроения проблема отделочно-зачистной обработки деталей стоит особенно остро. Это связано с тем, что основные операции механической обработки интенсивно механизируются и автоматизируются, а зачистные операции выполняются зачастую вручную или с применением простейших слесарных средств. Поэтому, все большую роль играют высокопроизводительные методы отделочных операций в технологическом процессе изготовления деталей, основанные на обработке свободным абразивом, что обусловлено высокими требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности деталей.

Большие перспективы в области отделочно-зачистной обработки деталей в среде мелкозернистого абразива открыло использование энергии сжатого воздуха для осуществления процесса. Применение сжатого воздуха в качестве энергоносителя позволяет создать широкий диапазон конструкций оборудования и технологических процессов обработки мелкозернистым абразивом. При этом перемещение абразивных частиц под воздействием сжатого воздуха мо-

жет быть главным движением, как в случае струйно-абразивной обработки, либо создавать условия для увеличения площади контактирования абразива с обрабатываемой деталью, как в случае турбоабразивной обработки.

Применяемые свыше трех десятилетий пневмоструйно-абразивная или пескоструйная обработка позволяют осуществить процесс на простом в конструктивном отношении оборудовании, без принятия защитных мер, предотвращающих коррозию обработанной поверхности. В ходе процесса можно использовать достаточно крупные зерна, приближая его производительность к дробеструйной обработке. Применение низкого (до 0,6 мПа) давления сжатого воздуха и невысокая стоимость оборудования делают доступным применение пневмоструйной обработки.

В области финишной обработки большое внимание уделяется галтовочным и виброабразивным методам зачистки. Преимущественно используют два галтовочных метода: сухой и жидкостный. Сущность сухого метода заключается в том, что загрузка состоит из деталей и абразива. При жидкостном методе в камере галтовочной установки добавляется антикоррозионная жидкость. Основные движения галтовочного метода – относительное скольжение деталей и абразива в верхнем слое рабочей среды по мере вращения барабана, что обусловливает невысокую производительность обработки.

Именно это обусловило, начиная с середины семидесятых годов, снижение интереса исследователей к данному виду обработки, а основное внимание начало уделяться виброабразивной обработке.

Рабочим движением, при виброабразивной обработке, является колебательное перемещение абразивного инструмента относительно неподвижно закрепленных или свободно движущихся обрабатываемых деталей, которые подвергаются обработке в виброабразивной установке.

Развитие вибрационной технологии позволило создать такой метод отделочно-зачистной обработки, как шпиндельная вибрационная обработка деталей. Виброшпиндельная обработка представляет собой процесс обработки поверхностей деталей, преимущественно тел вращения, которые контактируют с порошкообразной рабочей средой. Обработка осуществляется посредством съема мельчайших частиц металла или пластического деформирования обрабатываемой поверхности в результате относительного ее скольжения и соударения с высокой скоростью с частицами рабочей среды. Закрепленной на шпинделе станка детали сообщается вращение или

другие виды движения, а рабочая среда подвергается воздействию направленных вибраций в камере. Отсутствие жесткой кинетической связи деталей и абразива при данном методе позволяет увеличивать производительность в результате многошпиндельной обработки с целью максимального использования объема рабочей камеры. Вибрация рабочей камеры создает условия для получения требуемого давления рабочей среды, ее перемешивания.

В центробежно-планетарных машинах контейнеры движутся планетарно: вращаются вокруг собственных осей и относительно цен тральной оси. Предусматривается, как правило, несколько контейнеров, иначе подобная машина становится источником низкочастотных колебаний. Поскольку центробежные силы, действующие на загружаемые детали и абразив, превышают по величине гравитационные силы на порядок и более, для работы таких установок несущественно расположение центральной оси в вертикальной или в горизонтальной плоскости. Требуемое соотношение между частотами вращения барабанов вокруг собственной и центральной осей обеспечиваются специальными кинематическими цепями или раздельными приводами. Интенсивность обработки деталей в таких установках очень высока. Время зачистки, в зависимости от величины заусенца, не превышает 40–50 минут.

Особое место среди отделочно-зачистного оборудования занимают установки типа "ТУРБУЛА", а также системы "ШАТЦ", в которых движение (вращение) контейнера совершается в двух плоскостях. Такая возможность обеспечивается посредством сложной системы карданной подвески рабочего контейнера. Имея сложную конструкцию, этот тип машин не обеспечивает технологических преимуществ перед центробежными установками, однако позволяет производить зачистную обработку мелких нежестких и точных деталей.

Анализ современных работ по отделочно-зачистной обработке свободным абразивом показывает, что наиболее производительными способами в настоящее время с достаточной полнотой исследованы методы обработки свободным абразивом при использовании отдельно центробежных и вибрационных сил, а также их суммирование, когда центробежные силы распределены по объему рабочей камеры неравномерно.

Таким образом, эффективность различных способов обработки неодинакова, а повышение производительности и качества обработки обеспечивается кинематикой процесса, выбором рабочей среды, режимами обработки.

Рассматривая и анализируя некоторые способы абразивной обработки деталей свободным абразивом, а именно, вибрационный и центробежный, можно сделать вывод, что, объединяя перечисленные способы, можно добиться повышения качества поверхности деталей и производительности их обработки.

При рассмотрении любого способа обработки деталей свободным абразивом, в основу исследований должны быть положены исследование процесса формообразования обрабатываемой поверхности деталей из различных материалов при воздействии единичным абразивом и исследование динамики движения свободного абразива.

Бурыкин В.В. Институт сверхтвердых материалов
им В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Яновский В.А. Житомирский государственный
технологический университет, Житомир, Украина

СБОРНЫЙ ОТРЕЗНОЙ РЕЗЕЦ ИЗ ПСТМ ДЛЯ РАЗРЕЗКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учитывая, специфические структуру и свойства труднообрабатываемых материалов, а также особенности макрогеометрии деталей, особое место при проектировании отрезного лезвийного инструмента из ПСТМ приобретают его конструктивные мероприятия по снижению вибрации [1]. Случайные воздействия на режущий инструмент, связанные с неравномерностью припуска на обработку и изменением механических свойств обрабатываемых материалов, приводят к возникновению собственных колебаний в технологической системе. Колебания сопровождаются изменением сечения среза, скорости резания и силы резания. В качестве борьбы с вибрациями и для высокопроизводительной разрезки деталей из труднообрабатываемых материалов сконструирован сборный отрезной резец из ПСТМ (рис. 1) с виброустойчивыми условиями резания.

Сборный отрезной резец [2] состоит из державки пластинчатого типа 1, режущей пластины 2, прихвата 3, и крепежного элемента в виде втулки 4 с канавкой. В верхней части державки выполнено отверстие, в котором размещена крепежная втулка, имеющая отверстие под ключ. В торце державки выполнено глухое овальное отверстие, расширяющиеся в сторону режущей пластины. В отверстии расположен

прихват, выполненный в виде валика, один конец которого взаимодействует с режущей пластиной, а второй установлен на оси 5, расположенной перпендикулярно продольной оси державки. Наличие боковых стенок отверстия делает державку жесткой. Отверстие расширяется в сторону режущей пластины, что способствует рабочему перемещению прихвата, расположенного в отверстии. На наружной поверхности крепежной втулки нарезана спиральная канавка, которая охватывает валик и представляет собой самотормозящую пару скольжения (по типу эксцентрика). Кроме того, валик, охваченный спиральной канавкой втулки, защищает ее от смещения в осевом направлении, выполняя роль штифта. Также крепежный элемент не имеет деталей, выступающих за пределы ширины державки, что дает возможность увеличить диаметр отрезки и выполнять узкие глубокие канавки на обрабатываемой поверхности детали.

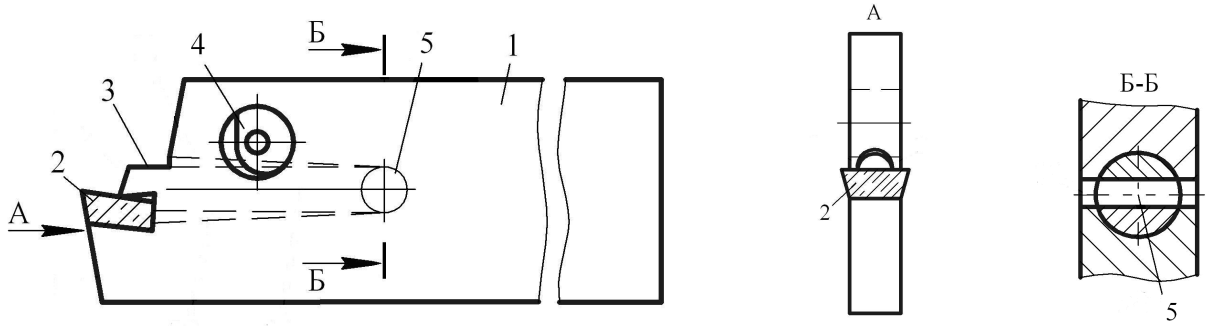


Рисунок 1 – Отрезной резец с видом А и разрезом Б-Б по патенту № 88257:
1 – державка; 2 – режущая пластина; 3 – прихват; 4 – втулка; 5 – ось

Для подготовки отрезного резца для разрезки заготовок из труднообрабатываемых материалов крепежную втулку размещают в поперечном отверстии, так, чтобы спиральная канавка более углубленной частью была повернута вниз. Затем валик заводят в глухое овальное отверстие и скрепляют с державкой с помощью оси. При этом прижимная площадка валика должна быть обращена в сторону режущей пластины. Для закрепления режущей пластины, размещенной в гнезде державки, крепежную втулку закрепляют ключом по часовой стрелке до жесткого зажима режущей пластины, при этом валик под действием спиральной канавки вращается на оси против часовой стрелки, зажимая пластину.

Разработанная конструкция сборного отрезного резца благодаря применению для крепления режущей пластины из ПСТМ соединения в виде самотормозящей пары скольжения позволяет защитить ее от смещения в осевом направлении, что способствует повышению вибростойкости резца, производительности обработки и ее качества,

уменьшению поломки режущих пластин и расширению диапазона их использования, которые отличаются по высоте. А сборно-разборная конструкция отрезного резца повышает ее технологичность, удобство эксплуатации и улучшает техническое обслуживание.

Испытание инструмента при разрезке вала из закаленной стали ШХ15 (HRC 48–50) показали высокую работоспособность инструмента, оснащенного ПСТМ. Режимные параметры обработки варьировались в следующих диапазонах: v = 50–60 м/мин, S = 0,16–0,25 мм. Обработку производили с охлаждением СОТС на основе концентрата ЭТ-2У и без охлаждения. Новый отрезной сборный инструмент из ПСТМ обеспечивает повышение скорости разрезки в 1,4 раза. Эксперименты показали, что использование СОТС в процессе разрезки деталей позволяет проводить обработку с более высокими скоростями резания при обеспечении качества реза и высокой стойкости инструмента.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение в 6 т. / Под общей ред. Н.В. Новикова.– Т. 5. Обработка материалов лезвийным инструментом / Под ред. С.А. Клименко.– К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006.– 316 с.

2. Патент України на корисну модель № 88257 Відрізній різець / С.А. Клименко, В.В. Бурикін, Ю.Е. Рижов та ін.; Заявка № u201310669 від 02.09.2013; Опуб.11.03.2014 // Промислова власність. – 2014.– Бюл. № 5.

Влайков Г.Г., Барабаш М.Ю. Литвин Р.В.,
Сезоненко А.Ю., Погребняк Л.Л., Джуренко Б.І.,
Рябов Л.В. Мартинчук В.Є. Технічний центр
НАН України, Київ, Україна

УПОРЯДКУВАННЯ НАНООБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕМПЛАТІВ

Проблема структурування матеріалів в наномасштабі, зокрема організація процесів упорядкування наноб'єктів за допомогою темплатів, є одним із основних напрямків розвитку нанотехнологій. Темплат є інструментом для організації у просторі та часі фізико-хімічних процесів структурування нанооб'єктів на поверхні матері-

алів різної природи за рахунок ближньопольової взаємодії нано-об'єктів із структурою темплату.

Мета даної роботи – розробка засобів виготовлення темплатів на основі фоточутливих нанокомпозиційних полімерних матеріалів в електрофотографічному процесі для формування впорядковано розташованих кластерів різної фізичної природи.

Досліджено можливість упорядкування нанокластерів Au на поверхні фотопровідних карбазольвмістних органічних молекулярних нанокомпозитів. Фотопровідний шар одержували спільною конденсацією на скляній підкладці з шаром електропровідного оксиду олова молекулярних пучків CdSe, 2,4,7-тринітро-9-флуоренону та продуктів мономеру *N*-вінілкарбазолу. Зразок з плівкою нанокомпозиту розміщували поблизу аноду коронуючого пристрою в повітряній атмосфері. В результаті осадження іонів на поверхні плівки формували однорідно-розподілений поверхневий заряд.

Формування локалізованого заряду в плівці нанокомпозиту здійснювали електрофотографічним методом при експозиції зразка голограмою за трипроменевою схемою. Автоматична реєстрація голограм на плівці нанокомпозиту включала три основні стадії (рис. 1).

При експозиції світлом плівки нанокомпозиту в електричному полі E плоского конденсатора відбувається фотогенерація носіїв струму та виникає фотопровідність, густина струму якої є модульованою інтенсивністю світлового поля. Після завершення експозиції на поверхні плівки формувався неоднорідний розподіл поверхневого заряду. На поверхню сформованого електретного темплату термічним методом напилювали золото,

Рисунок 1 – Механізм формування на поверхні темплату системи впорядковано розташованих золотих кластерів: *а* – експозиція світлом зарядженої плівки фотопровідника, *б* – утворення захоплених зарядів при експозиції, *в* – адсорбція золота в пучностях електричного поля при напилені золота у вакуумі та утворення золотих кластерів

що конденсується у вигляді нанокластерів виключно в областях максимальної напруженості локального поля захопленого заряду в фотопровідній плівці [1, 2]. Механізмом самовпорядкування Au під час термічного напилення на поверхню електретного темплату є рух атомів молекулярного пучка в локальному електричному полі E=120 МВ/м. В області градієнту електричного поля темплату у атомів Au виникає дипольний момент, що спричинює їх транспорт до областей поверхні плівки, де локалізовано заряд. Направлений транспорт поляризованих частинок Au відбувається у напряму градієнта електричного поля E. Розміри та об`єм осаджених нанокластерів Au визначається інтенсивністю та часом конденсованого на поверхні електретного темплату молекулярного пучка. Найменший період сформованої голографічним методом структури нанокластерів Au становить чверть довжини хвилі при зустрічному розповсюджені лазерних променів. У випадку використання лазерів, що випромінюють у короткохвильовій області, можливо формувати структури нанокластерів з періодом 80–120 нм. Розташування та симетрію осаджених нанокластерів можна змінювати шляхом варіювання топологією світлового поля голограми, що використовується для формування електретного темплату. На поверхні таких темплатів можливе осадження не лише металів, а й широкого кола органічних та неорганічних сполук шляхом напилення у вакуумі, або осадження з газової та рідкої фаз. Отже, запропоновано новий підхід до формування електретних темплатів у електрофотографічному процесі та сформовано такий темплат площею 1 см^2, періодом ~2 мкм електрофотографічним методом при експозиції плівки нанокомпозитного фотопровідника голограмою.

Показано, що розташування та симетрія осаджених на поверхню електретного темплату нанокластерів золота, одержаних напиленням у вакуумі, задаються топологією світлового поля голограми, яке використане для формування темплату.

Література

1. Барабаш М.Ю., Гринько Д.О., Сперкач С.О. Формування наноструктур на темплатах випромінюванням із видимого діапазону – К.: ІМФ ім. Г.В. Курдюмова НАН України, 2015. – 202 с.

2. Голографічна та спекл інтерферометрія / Г.Г. Влайков, М.Ю. Барабаш, І.В. Бєлоусов и др. – К.: ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, 2009. – 72 с.

Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Степаненко А.В.,
Федоран Ю.А., Кравчук А.В., Бужанская И.И.
Институт проблем материаловедения
им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ «BN_B–АЛМАЗ» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗА ПРИ ЕЕ СПЕКАНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

На характер фазовых превращений и структурообразования поликристаллического материала на основе вюртцитного нитрида бора под воздействием высоких давлений и температур влияет присутствие в исходном материале различных наполнителей, которые способствуют его уплотнению и формированию высоких физико-механических свойств [1, 2]. Дисперсность наполнителя и его характеристики меняют картину формирования пористого порошкового тела в процессе воздействия давления и его окончательного состояния перед приложением температуры [3].

В данной работе приведены результаты исследований изменений фазового состава композитного ПСТМ на основе вюртцитного нитрида бора в присутствии алмазов различной природы и дисперсности при их спекании в условиях высоких давлений. Исходная шихта перед спеканием состояла из 90 мас.% BN_B и 10 мас.% алмазов. Основная доля частичек вюртцитного нитрида бора имела размер в развитой плоскости 0,1–1,5 мкм. Алмазная составляющая была представлена двумя видами – микропорошками алмаза статического синтеза 0,1/0 мкм ($C_{а.с}$) и алмаза динамического синтеза с размером частиц 5 – 12 нм ($C_{а.д}$). Смесь порошков BN_B и алмазов готовили путем смешивания в спирте в течении 2 часов, последующего осаждения и сушки. Спекание образцов композита осуществляли при давлении 7,7 ГПа, температуре T = 1600–1800° С на протяжении τ = 60 с и τ = 120 с. Фазовый состав полученных спеков определяли рентгенографически. Съемку производили на углах 2Θ = 20–100° с шагом 0,05° при времени выдержки в точке 4 с. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Полученные данные свидетельствуют о следующем. Более высокую степень фазового превращения матричной составляющей композита, вюртцитного нитрида бора, в присутствии алмазов динамического синтеза, можно объяснить их высокой активностью и

степенью усадки под воздействием температуры, особенно на начальных этапах спекания. По-видимому, часть алмазов образует твердый раствор [4, 5] взаимодействием с BN_B, а остальные алмазы (7 об.%) претерпевают обратное фазовое превращение $C_{ал} \rightarrow C_{гр}$. Следует отметить, что присутствие в составе исходной смеси ультрадисперсных алмазных порошков способствует увеличению скорости усадки, обусловленной их большей свободной энергией, причем максимальная скорость усадки имеет место в первые 5–10 с воздействия температуры.

Таблица 1 – Характер изменения фазового состава композита на основе BN_B в зависимости от условий спекания и вида алмазной составляющей

Состав	Условия спекания	Плотность, г/см^3	Фазовый состав, об.%				Примечание
			$BN_в$	$BN_{сф}$	алмаз	графит	
$BN_в + C_{а.д}$	$T = 1600°$ C $\tau = 60$ с	3,213	7	86	–	7	очень широкая линия графита
$BN_в + C_{а.д}$	$T = 1800°$ C $\tau = 120$ с	3,194	3	90	–	7	
$BN_в + C_{а.с}$	$T = 1600°$ C $\tau = 60$ с	3,412	16	75	9	–	
$BN_в + C_{а.с}$	$T = 1800°$ C $\tau = 120$ с	3,398	6	85	9	–	

Для композита на основе BN_B в присутствии алмазов статического синтеза характер его усадки, и сопутствующие этому фазовые превращения, идентичны спеканию чистого вюртцитного нитрида бора. В сравнении с образцами содержащими алмазы динамического синтеза, при тех же баротермических условиях и времени спекания, степень фазового превращения $BN_B \rightarrow BN_{сф}$ имеет более низкие значения. Снижение плотности образцов при $T = 1800$ °C с увеличением длительности процесса спекания обусловлено их разуплотнением вследствие собирательной рекристаллизации, которая в этом случае имеет место.

Таким образом, дисперсность алмазной составляющей при спекании композита «BN_B–алмаз» существенно влияет на скорость и степень фазового превращения $BN_B \rightarrow BN_{сф}$, а также физико-механические характеристики спеченного композита.

Литература

1. Физико-химические основы легирования кубического нитрида бора / А.К.Бутыленко, И.И. Тимофеева, Т.С. Бартницкая и др. // Докл. международ. семинара «Сверхтвердые материалы: синтез свойства, применение». – К.: Наук. думка. – 1983. – С. 66–69.

2. Волкогон В.М., Громыко С.Н., Курдюмов А.В. Влияние Si_3N_4 на рост зерен КНБ при фазовом переходе $BN_в$ – $BN_{сф}$ // Сверхтвердые материалы. – 1991. – №3. – С. 14–17.

3. Композиционный материал на основе гексанита / И.Н. Францевич, С.Н.Громыко, А.В. Курдюмов и др.// Сверхтвердые материалы: синтез, свойства, применение: Докл. международ. семинара. – К.: Наук. думка.– 1983. – С. 24–29.

4. Микроструктурные особенности контактного взаимодействия в системе частиц алмаза и вюрцитного нитрида бора при выоких давлении и температуре / Г.С. Олейник, В.М. Волкогон, С.К. Аврамчук и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – вып. 15. – С. 315–320.

5. Формирование микроструктуры композитов в системе алмаз-алмазоподобные фазы BN / В.М. Волкогон, Г.С. Олейник, И.И. Тимофеева и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2013. – вып. 16. – С. 264–270.

Волкогон В.М., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Бобер М.В., Кутрань Т.Н. Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА

Недостатком получения керамики на основе карбида бора, является довольно высокая стоимость порошков, пониженная их спекаемость, которая требует использования высоких температур (более 2000^o С) и/или давлений при спекании. Высокие температуры

спекания сопровождаются явлением аномальной рекристаллизации и потерей прочностных свойств. Поэтому поиск путей совершенствования составов керамики на основе карбида бора, с существенным улучшением прочностных характеристик при пониженных температурах является актуальной задачей.

По данным [1] при температуре горячего прессования $T = 1950–2000°$ С плотность керамики на основе B_4C достигает 96–98%. Для интервала температур горячего прессования $T = 1995–2090$ °С с ростом температуры плотность керамики увеличивается всего на 1–1,5%.

Изменение прочностных характеристик находится в прямой зависимости с особенностями пористой и зеренной структуры керамики.

Начиная с $T = 2060$ °С повышение температуры и времени выдержки приводит к росту размера зерен. Таким образом, высокая прочность B_4C $\sigma_{изг} \sim 600–630$ МПа достигается в очень узком интервале температур 2065–2080 °С, что обусловлено однородностью структуры при достаточно малом размере дефектов и зерен карбида бора. Повышение температуры горячего прессования выше 2100–2120 °С способствует аномальному росту зерен, размер которых превышает 100–150 мкм, при этом пористость количественно и качественно практически не изменяется. Для карбида бора существует пороговая температура 2060–2070 °С, при которой образуются прочные связи между зернами. Достигнуть высокой прочности на монофазной карбидо-борной керамике практически невозможно при изготовлении крупногабаритных изделий.

Задача получения высокопрочных состояний с использованием тех же порошков решается с переходом к композитам на основе карбида бора. В технологии спекания карбида бора в последние годы наметилось 3 основных направления:

- спекание с использованием активирующих добавок (углерод и карбиды переходных металлов (Ti, V, Cr, W));
- реакционное спекание или горячее прессование композитов, базирующееся на реакции восстановления вводимого в шихту оксида: $B_4C + MeO + C \rightarrow B_4C + MeB_2 + CO$ (Me-Zr, Ti);
- получение композитов $B_4C–SiC–Si$ пропитка жидким кремнием.

Данные [2] свидетельствуют о том, что в керамике $B_4C–MeB_2$, полученной методом реакционного горячего прессования, можно исключить аномальный рост зерен и получить мелкозернистую структуру с высоким уровнем механических свойств в расширен-

ном, по сравнению с монофазным карбидом бора, интервале температур горячего прессования. Исследования с использованием в качестве вторых фаз боридов титана, циркония, ванадия, хрома, а также карбида кремния показали возможность получения композитов с прочностью до 900 МПа, что практически решает проблему создания высокопрочных карбидоборных материалов.

Композиционную керамику [3] можно получить в режиме реакционного горячего прессования из шихт, содержащих карбид бора, свободный углерод и соответствующий оксид с протеканием при нагреве реакции карботермического восстановления оксида. Свободный углерод в спекаемой керамике активирует процесс спекания, а его выделения при оптимальном содержании могут способствовать увеличению трещиностойкости, поэтому в шихтах обеспечивают избыток содержания свободного углерода с остаточным его количеством ~ 3 мас. % в горячепрессованных образцах. Этот результат имеет важное экономическое следствие, поскольку в производстве керамики могут использоваться порошки карбида бора со значительными количествами свободного остаточного углерода после синтеза.

В последнее время ведутся работы по получению композиционной керамики на основе B_4C без применения технологий горячего прессования. По данным [4] такая керамика на основе эвтектической системы B_4C–TiB_2–SiC характеризуется высокой плотностью, трещиностойкостью и износостойкостью.

Литература

1. Григорьев О.Н., Лапко С.А., Трунова Е.Г., Прочность и стабильность свойств горячепрессованного карбида бора // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – №3. – С. 28–32.

2. Структура, физико-механические свойства и особенности разрушения керамики на основе карбида бора // О.Н. Григорьев, В.В. Ковальчук, В.В. Заметайло и др. // Порошковая металлургия. – 1990. – №7. – С. 38–43.

3. Получение и физико-механические свойства композитов B_4C-VB_2 / О.Н. Григорьев, В.В. Ковальчук, О.И. Запорожец и др. // Порошковая металлургия. – 2006. – №1/2. – С. 59–71.

4. Орданьян С.С., Унрод В.И. Эвтектики в системах с участием тугоплавких соединений и их модели – спеченные композиции // Новые огнеупоры. – 2005. – №7. – С. 42–48.

Волкогон В.М., Степаненко А.В., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Кутрань Т.Н. Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕХИОМЕТРИЧНОСТИ ПОРОШКОВ КАРБИДА БОРА

Интерес к карбиду бора обусловлен тем, что он обладает рядом полезных физико-химических свойств. Он имеет относительно низкую плотность, является третьим по твердости веществом (после алмаза и кубического нитрида бора), обладает высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, имеет высокое сечение захвата нейтронов, является полупроводником. Основными областями применения карбида бора являются производство абразивного и режущего материала, атомная энергетика (материал стержней реакторов) и производство легкой брони. Карбид бора также применяется в качестве термо- и электроизоляционного материала и материала для устройств в микроэлектронике.

Из анализа литературных данных можно сделать вывод, что карбид бора является фазой переменного состава по содержанию углерода. Фазы переменного состава – это твердые растворы, содержание атомов разных элементов в которых может варьироваться в определенных пределах. Они могут быть частично или полностью упорядоченными, а также неупорядоченными. Переменность состава подразумевает монотонность изменения свойств и параметров структуры. Но экспериментально это наблюдается не всегда, так как неравновесность процессов образования фаз также оказывает существенное влияние на структуру и свойства. Получение информации об особенностях процесса формирования фаз переменного состава в области гомогенности является важным условием для выявления составов с наилучшими свойствами.

Как следует из диаграммы состояния B-C [1] (рис. 1) содержание углерода в карбиде бора может меняться от 9 до 20 ат. %, что соответствует составам $B_{10.5}C$ – $B_{4.0}C$ [1, 2]. При этом плотность карбида бора возрастает линейно увеличению содержания углерода в пределах области гомогенности фазы. Измеренная плотность для B_4C составляет 2,52 г/см^3; для $B_{13}C_2$ – 2,49 г/см^3; для $B_{10.5}C$ – 2,47 г/см^3 [1, 3]. Карбид бора имеет твердость *HV* ~ 35 ГПа [1]. Мик-

ротвердость карбида бора, как и плотность, увеличивается линейно содержанию углерода в области гомогенности фазы. Например, *HV*200g = 2910 ± 90 кг/мм^2 для 10.6 ат.% C, и 3770 ± 80 кг/мм^2 для 20,0 ат.% C. В присутствии свободного углерода твердость карбида бора уменьшатся [3].

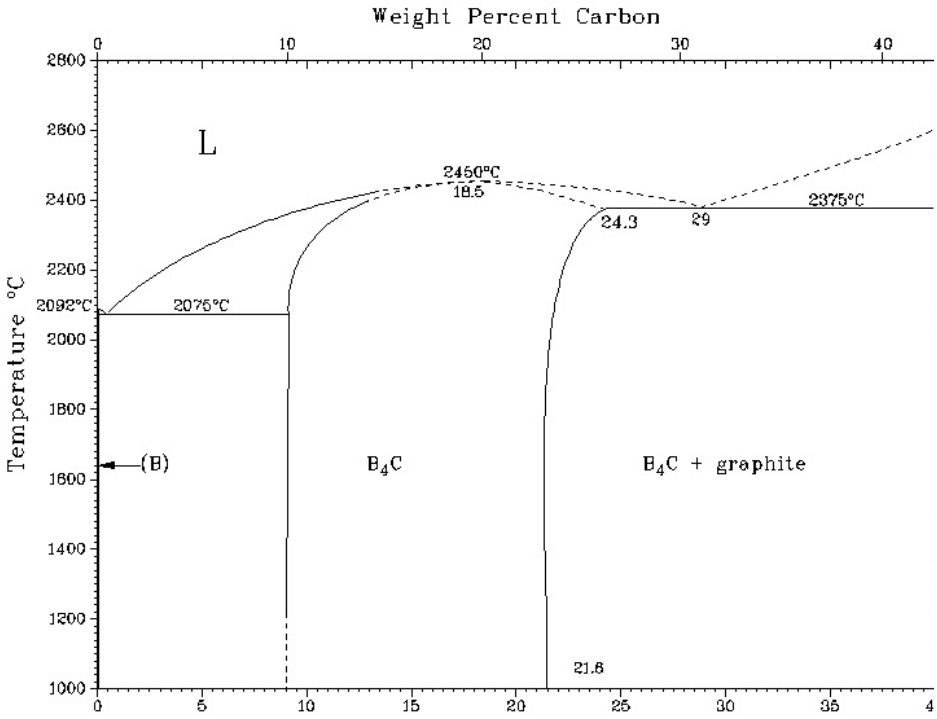


Рисунок 1 – Диаграмма состояния B-C [1]

Одним из наиболее широко применяемых методов определения упорядоченности является метод рентгеноструктурного анализа [4, 5]. Количество свободного углерода можно качественно оценить [6] по отношению общей интенсивности линий (002) – сажи и (002) – графита к интенсивности линии (110) карбида бора. Так для определенного порошка карбида бора:

$$C_{carb} = k_{carb} \times I_{carb}^{002}; \quad (1)$$

$$C_{B4C} = k_{B4C} \times I_{B4C}^{110}, \quad (2)$$

где C_{carb}, C_{B4C} – концентрации углерода и карбида бора в порошке, I^{002} и I^{110} интенсивности линий (002) – углерода и (110) – карбида бора, а k_{carb} и k_{B4C} коэффициенты пропорциональности, зависящие от поляризации и т.д. Для порошка получаем:

$$\frac{C_{carb}}{C_{B4C}} = \frac{k_{carb} \times I_{carb}^{002}}{k_{B4C} \times I_{B4C}^{110}}. \quad (3)$$

Тогда для двух порошков карбида бора получим соотношение:

$$\frac{C_{carb}^1}{C_{B4C}^1} / \frac{C_{carb}^2}{C_{B4C}^2} = \frac{I_{carb}^{1-(002)}}{I_{B4C}^{1-(110)}} / \frac{I_{carb}^{2-(002)}}{I_{B4C}^{2-(110)}}, \quad (4)$$

поскольку коэффициенты пропорциональности в фазах порошков в первом приближении можно считать одинаковыми. Из приведенного расчета следует, чем больше соотношение интенсивностей соот-

ветствующих линий углерода и карбида бора, тем выше содержание свободного углерода в порошке.

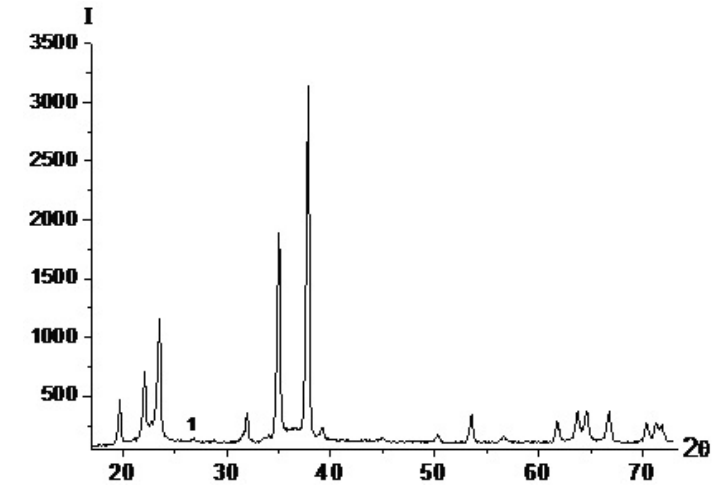


Рисунок 2 – Обзорная дифракторгамма образца № 3 (1 – свободный углерод)

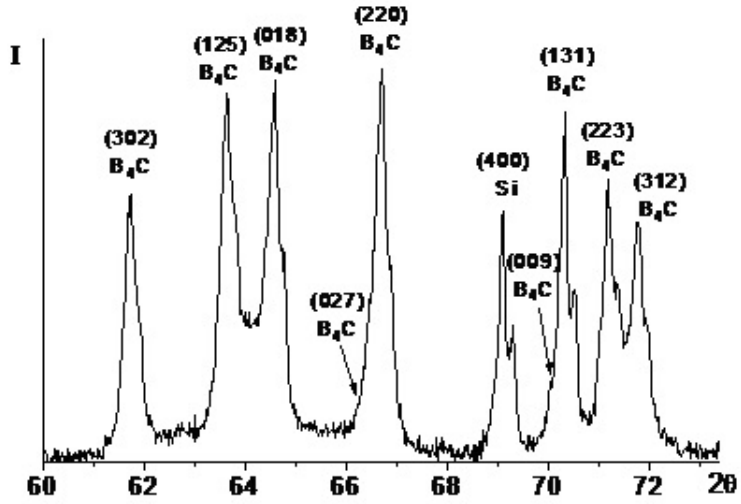


Рисунок 3 – Дифрактограмма порошка карбида бора с эталоном Si

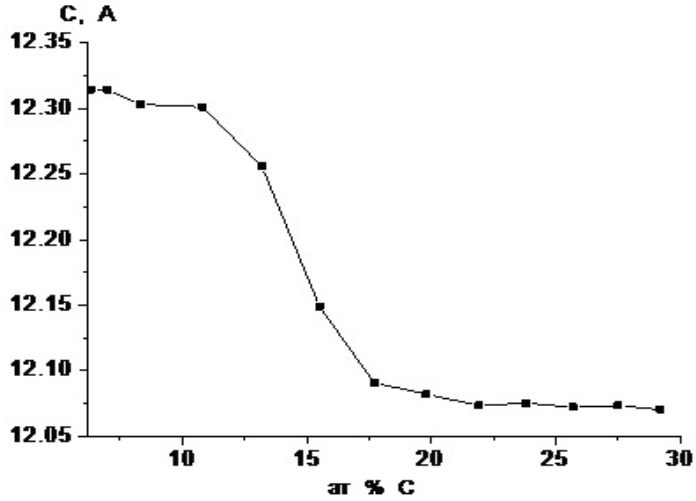


Рисунок 4 – Зависимость параметра решетки с карбида бора от концентрации связанного углерода

Типичная дифрактограмма порошка карбида бора представлена на рис. 2 (образец № 3).

Для определения связанного углерода в порошках использовался подход развитый в работе [7]. Выполняли рентгеновскую съемку нескольких линий порошка карбида бора с кремниевым эталоном (рис. 3).

Используя рассчитанные по результатам съемки значения 2θ дифракционных максимумов для нескольких плоскостей отражения карбида бора, определяли значения параметров гексагональной решетки a и c. По зависимости параметра решетки c карбида бора от концентрации связанного углерода (рис. 4) определяли содержание связанного углерода в образце порошка карбида бора. При построении графика за-

висимости параметра решетки *c* карбида бора от концентрации связанного углерода использовали данные работы [7].

Образцы снимали на модернизированном дифрактометре ДРОН-3М методом точечной съемки.

Условия съемки:

Горизонтальная щель перед трубкой	6 мм
Вертикальная щель щель перед трубкой	0,5 мм
Две щели Соллера	2,5°
Вертикальная щель щель перед детектором	0,25 мм
Использовался эталон	Si

Обзорные дифрактограммы снимали с шагом 0,05° и времени выдержки в точке 4 с. При определении периодов решетки карбида бора шаг съемки составлял 0,02°, а время выдержки увеличивали до 15 с. Обработка дифрактограмм проводилась с использованием следующего программного обеспечения New profile, Powdercell, CSD.

Отношение общей интенсивности линий исследуемых образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Отношение общей интенсивности линий (002) – сажи и (002) – графита к интенсивности линии (110) карбида бора

Образец	№ 1 B4C (дроб)	№ 2 B4C (С)	№ 3 B4C (Ч)	№ 4 Stark
$I^{002}_{с} / I^{110}_{B4C}$	4	989	0,41	18

1) Образец № 1 (B_4C-дроб) – технический дробленный (табл. 2).

Таблица 2 – Значение максимумов дифракционных кривых для плоскостей отражения образца карбида бора № 1 (B_4C-дроб)

hkl	(131)	(223)	(312)
2θ, °	70,26	71,159	71,744

В образце имеется некоторое количество свободного углерода в виде сажи и графита (см. табл. 1).

Параметры решетки образца карбида бора составляют:

$$a = 5{,}6073(2)\ Å;\ c = 12{,}074(7)\ Å$$

Таким образом, концентрация связанного углерода в карбиде бора составляет 21,5 % ат.

2) Образец № 2 (B_4C-С) (табл. 3).

Таблица 3 – Значение максимумов дифракционных кривых для плоскостей отражения образца карбида бора № 2 (B_4C-С)

hkl	(303)	(125)	(220)	(131)	(223)
2θ, °	61,689	63,599	66.72	70,358	71,196

Интенсивность дифракционных пиков сажи и графита в различных порошках карбида бора приведена на рис. 5. На дифрактограмме образца № 2 имеется интенсивный двойной пик (002) сажи и графита (см. рис. 5), из анализа соотношения соответствующих линий углерода и карбида бора следует, что концентрация свободного углерода достаточно велика.

Параметры решетки образца карбида бора составляют:

a = 5,602(1) Å; c = 12,11(2) Å.

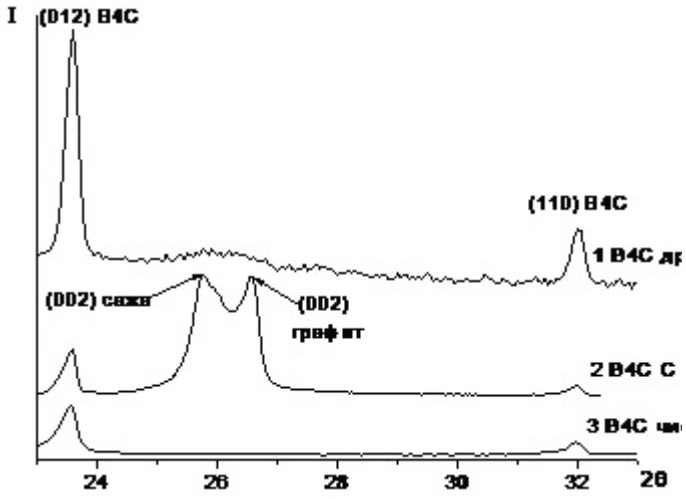


Рисунок 5 – Интенсивность дифракционных пиков сажи и графита в различных порошках карбида бора

Из полученного значения следует, что содержание связанного углерода в карбиде бора составляет примерно 17 ат.%.

3) Образец № 3 (B_4C-Ч) – чистый.

Поскольку на дифрактограмме присутствует малоинтенсивные пики (002) сажи и графита (см. рис. 5), то концентрация свободного углерода в образце составляет примерно 1,5 масс.%. Отношение интенсивностей соответствующих линий углерода и карбида бора приведены в табл. 1.

Значение максимумов дифракционных кривых для некоторых плоскостей отражения образца № 3 указаны в табл. 4.

Таблица 4 – Значение максимумов дифракционных кривых для плоскостей отражения образца карбида бора № 3 (B_4C-Ч)

hkl	(303)	(125)	(018)	(223)	(312)
2θ, °	61,72	63,66	64,547	71,22	71,80

Определенные параметры решетки образца составляют:

$$a = 5{,}603(1)\ Å;\ c = 12{,}085(4)\ Å.$$

Таким образом, концентрация связанного углерода в карбиде бора составляет 19,1 ат.%.

4) Образец № 4 (Stark).

На дифрактограмме присутствуют достаточно интенсивные дифракционные кривые от плоскостей (002) сажи и графита. Отношению общей интенсивности линий (002) – сажи и (002) – графита к интенсивности линии (110) карбида бора приведены в табл. 5.

Значение максимумов дифракционных кривых для некоторых плоскостей отражения образца № 4 указаны в табл. 5.

Таблица 5 – Значение максимумов дифракционных кривых для плоскостей отражения образца карбида бора № 1 (B_4C-дроб)

hkl	(302)	(018)	(131)	(312)
2θ, °	61,777	64,54	70,362	71,866

Параметры решетки образца карбида бора составляют:

$$a = 5{,}65(6)\ Å;\ c = 12{,}1(3)\ Å$$

Из полученных значений следует, что содержание связанного углерода в карбиде бора составляет примерно 16,3 % ат.

В результате проведенных исследований отработана методика качественного анализа наличия свободного углерода в порошках и керамике на основе карбида бора. Кроме того, показано, что методом рентгеновской дифрактометрии можно выполнять количественное измерение содержания связанного углерода в порошках карбида бора и его монофазной керамике.

Опробована методика анализа стехиометрии карбида бора методами рентгеновского анализа, которая позволяет оценить пригодность порошка для получения керамического изделия с высокими физико-механическими свойствами или провести корректировку исходного состава.

Литература

1. Карбид бора / П.С. Кислый, М.А. Кузенкова, Н.И. Боднарук, Б.Л. Грабчук. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.

2. Boron and Refractory Borides / Ed. by V.I. Matkovich. – New York: Springer, 1977. – 656 p.

3. Thevenot, F. Boron Carbide – A Comprehensive Review / F. Thevenot // J. of the Europ. Cer. Soc. – 1990. – Vol. 6. – P. 205–225.

4. Чжан Ш. Многоволновая дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. – М.: Мир, 1987. – 234 с.

5. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография / Д.К. Боуэн, Б.К. Таннер. – М.: Наука, 2002. – 273 с.

6. Русаков А.А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 479 с.

7. Ковалев И.Д. Рентгенография процессов формирования фаз переменного состава в условиях СВС: Дис...канд. ф.-м. наук. – Черноголовка: Ин-т структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, 2014. – 127 с.

Воскобойников Д.Г. Филиал «Южная дорога»
ПАО «Укрзализниця»,
Гребенюк В.А. Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ РАЗРУШЕНИЯ АВТОСЦЕПКИ СА-3

Учитывая то, что через автосцепку вагона передаются большие нагрузки в процессе работы подвижного состава, а также и то, что детали мехзанизма работают в сложном режиме: сжатия, растяжения, кручения, изгиб, итрения, поэтому вопрос выявления причин выхода их строя автосцепки, а вместе с тем и вопрос совершенствования ее ремонта стоит актуально и в настоящее время.

Проанализировав показания нескольких депо по ремонту подвижного состава на железных дорогах Украины можно сделать предварительный вывод о том, что наиболее распространенным видом неисправности является естественный износ рабочих поверхностей автосцепки. Но наряду с этим, во многих случаях обнаруживаются трещины как на корпусе, так и на деталях автосцепки. Самым «болезненным местом» является переход хвостовика к головке автосцепки, а также излом предохранителя замка.

Возможных дефектов, которые возникают в процессе эксплуатации автосцепки, только на самом ее корпусе насчитывается около 20, из которых 13 устраняется путем наплавки. Что касается непостредственно деталей механизма, то дефекты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Дефекты деталей механизма

Наименование	Количество возможных дефектов	Количество устранений путем наплавки
замок	9	6
замкодержатель	7	3
предохранитель замка	5	2
подъемник замка	5	2
валик подъемника	5	3

Причины появления дефектов заключаются в следующем:

Металлургические дефекты при отливке как корпуса, так и деталей автосцепки (раковины как наружные так и внутренние,образование так называемых чернот и пор), как показала практика именно в этих местах появляются трещины в процессе эксплуатации.

Слабая износотойкость металла в местах интенсивной работы (трущиеся и ударные поверхности).

При деповском ремонте несоблюдение технологичсекого процесса ремонта автосцепки, а именно:

- нарушение технологии разделки трещин при электродуговой или поверхностно-кислородной резке. Учитывая, что толщина стенки корпуса автосцепки при литье не всегда выдерживается одинаковой,допускаются сквозные прожоги стенки по всей длине разделки,что недопустимо. Несоблюдение длины линии разделки, которая должна быть больше длины трещины на 8–9 мм;
- нарушение технологии сварки.

Существуют разные методы, установки и приспособления по устранению этих дефектов и недостатков, но зачастую оборудования для их реализации не всегда можно испольщовать на всех депо по причине высокой цены та сложности обеспечения экологического состояния при проведении работ.

Многие депо сегодня физически не готовы определенный вид ремонта автосцепки з-за отсутствия необходимой установки., оборудования или материалов, поэтому в большинстве случаев автосцепки напраляются для ремонта на заводы-изготовители.

Поэтому не только для заводов-изготовителей ,но и для вагоноремонтных депо необходимо внедрять передовую технологию износотойких наплавок, а также совершенствоание процесса сварки трещин корпуса и механизмов автосцепки.

Глембоцкая Л.Е., Балицкая Н.А., Мельник А.Л.
Житомирский государственный технологический
университет, Житомир, Украина

ПРОЦЕСС ЧИСТОВОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Проблемы чистового торцевого фрезерования обусловлены: неблагоприятными действительными геометрическими параметрами режущих кромок фрез, малым количеством как общих, так и активных режущих ножей, высокими удельными силами резания и их значительными колебаниями, чувствительностью к биению режущих кромок инструмента и их ударными нагрузками, высокой скоростью и температурой в зоне резания, недостаточной стойкостью фрез и др. Снизить влияние указанных факторов на характеристики обрабатываемой поверхности можно конструктивным путем.

В предыдущих исследованиях авторов было предложено общей поверхности резания предать форму тора за счет использования тороидальной формы корпуса фрезы с расположением ножей по спирали Ферма, поскольку это приводит к более равномерной нагрузке на ножи, увеличению количества ножей, которые принимают участие в резании.

Тороидальная форма корпуса торцевой фрезы является наиболее рациональной, поскольку работа чернового ножа характеризуется углом в плане близким к прямому, что определяет минимальное копирование поверхности заготовки на поверхности детали. Чистовой нож имеет нулевой угол в плане, а получистовой нож – незначительный. Благодаря расположению этих ножей на окружности тора чистовым ножом срезается малая толщина среза, что определяет высокое качество поверхности. Конструктивным преимуществом тороидальной формы корпуса является также возможность относительно легкой установки ножей с одинаковым вылетом относительно корпуса, чем обеспечивается одинаковая нагрузка на каждый нож.

Для эффективного разрушения припуска необходимо срезать уменьшенные по ширине и увеличенные по толщине шары среза, что возможно реализовать за счет ступенчатых схем резания, в результате чего уменьшаются удельные силы резания.

Еще одним важным преимуществом этих фрез, по сравнению со стандартными, является меньшая чувствительность к биению режущих кромок ножей, вследствие преобладающего резания каждым

ножом по собственному следу. При реализации на торцевых фрезах «челночных» ступенчатых схем резания ножи располагаются на спиралях разного направления или на двух полукругах (круг со смещенным относительно оси вращения центром). Такое разное расположение ножей может рассматриваться как конструктивная подача [1] с разным знаком. Взаимодействие конструктивной с рабочей кинематической подачей создает разные по величине толщины среза на каждый нож.

Слой припуска, который срезается стандартными инструментами имеет обычное всесторонне сжатое состояние, поэтому необходимо сформировать такое напряженное состояние, которое характеризовалось бы меньшим гидростатическим давлением [2]. Конструктивно это можно решить путем выполнения передней поверхности режущей части ножа выпуклой, а задней – плоской [3].

Для снижения динамической нагрузки в зоне контакта с заготовкой рекомендуется использовать отрицательные передние углы и увеличенные углы наклона режущей кромки ножей торцевых фрез, то есть косоугольное резание.

При косоугольном резании ножами с безвершинной формой наклоненной режущей части этот недостаток частично снимается. Но более полное снятие влияния биения будет иметь место благодаря использованию ступенчатой схемы резания. Кроме того, ступенчатые схемы резания характеризуются участием практически всех ножей в резании, что также свидетельствует о повышении производительности обработки.

На основе вышеупомянутых предложений была изготовлена торцевая фреза для чистового резания усовершенствованной конструкции [4] с помощью которой был проведен проверочный эксперимент на вертикально-фрезерном станке модели 6Р12 (доведенном до нормы точности (Н): схема фрезерования – попутная; заготовка – 82×250×62 мм из стали 35ХГСА, закаленная до твердости 47–52 HRC; инструментальный материал – ВК8; передняя поверхность пластин – цилиндрическая; режимы резания – v = 151 м/мин, S = 35 мм/мин, t = 0,8–1,1 мм). В результате проведенных исследований обеспечены: шероховатость *Ra* 1,2 и отклонение от плоскостности Δ = 25 мкм. Установлено, что внедрение предложенной торцевой фрезы усовершенствованной конструкции приводит к повышению производительности (в 2,9 раза) сравнительно с двукратным шлифованием.

Литература

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: учебник. – К: Вища шк., 1990. – С. 218–222.

2. Обработка металлов резанием. / И. Дж. А. Армарего, Р.Х. Браун – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

3. Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П. Моделювання силових залежностей при торцевому фрезеруванні // Вісник ТДТУ. – 2008 – том 13, №3. – С. 78–87.

4. Патент на винахід № 78120, МПК(2007) B23C5/02, B23C5/16. Різальний інструмент. / Л.Є. Глембоцька – № a200504170, заявл. 29.04.2005; надр. 15.02.2007, Бюл. № 2.

Голякевич А.А., Евтушенко В.В.
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

НОВАЯ ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Предприятие ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» разработало новую порошковую проволоку, предназначенную для автоматический и полуавтоматической наплавки при восстановлении и упрочнении деталей, работающих в условиях трения металла о металл.

Проволока хорошо себя зарекомендовала при наплавке на среднеуглеродистые конструкционные и низколегированные стали марок сталь 35, сталь 45, 30ХГСА, 35ХН2М, 38ХГНМ, 40Х, 40ХН2МА, 38Х2МЮА и др. Данные марки сталей относятся к классу трудносвариваемых.

Проволоке присвоена марка ВЕЛТЕК-Н351.

При наплавке порошковой проволокой ВЕЛТЕК-Н351 получается мартенситный наплавленный слой с системой легирования Cr, Ni и Mo.

С использованием минимального подогрева (200–250 °С) наплавляемой детали, проволока ВЕЛТЕК-Н351 обеспечивает качественный наплавленный слой, характеризующийся отсутствием хрупких закалочных структур и дефектов в виде пор и трещин. Твер-

дость наплавленного металла в зависимости от содержания углерода, составляет 24–40 HRC.

Проволока ВЕЛТЕК-Н351 прошла всесторонние испытания и применяется при наплавке буферных слоев перед упрочняющей наплавкой, наплавкой зубьев шестерен, рабочих колес кранов и бандажей, восстановительной наплавки шеек роликов МНЛЗ, посадочных мест крупногабаритных валов и др.

Проволока обеспечивает стабильное горение сварочной дуги, низкое разбрызгивание и благоприятное формирование наплавляемого металла, легкую отделимость шлаковой корки.

По требованию заказчика проволока марки ВЕЛТЕК-Н351 может быть изготовлена в 3-х вариантах:

- самозащитная, ВЕЛТЕК-Н351-О (∅ 1,6–3,2 мм);
- в среде защитных газов 100% CO_2 или 80% Ar + 20% CO_2, ВЕЛТЕК-Н351-G (∅ 1,2–2,6 мм);
- под флюсом марок АН-348А, АН-60, АН-26, ВЕЛТЕК-Н351- S (∅ 2,0–4,0 мм).

Голякевич А.А., Упырь В.Н., Нестыкайло В.В.
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ПРИ РЕМОНТЕ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Для повышения качества ремонта литых деталей вагонов, изготовленных по ГОСТ 977- 88 и ГОСТ 22703-91, были разработаны, испытаны и внедрены в производство наплавочные порошковые проволоки марок ВЕЛТЕК-Н250-РМ, ВЕЛТЕК-Н290 и ВЕЛТЕК-Н490, которые позволяют повысить износостойкость наплавленных поверхностей, что обеспечивает в межремонтный период надежную и безопасную эксплуатацию подвижного состава.

Как показали исследования износостойкости металла, наплавленного порошковой проволокой на детали подвижного состава железнодорожного транспорта, комплексное легирование повышает абразивную износостойкость наплавленного слоя деталей за счет применения таких элементов как Mn, Si, Ni, которые существенно

повышают прочность матричной фазы. Применение Cr, Mo, Ni повышает стойкость переохлажденного аустенита, в результате чего при охлаждении наплавленного слоя образуются низкотемпературные дисперсные продукты распада аустенита с повышенной твердостью – бейнит, троостит или сорбит. Такие элементы как Nb, V, Ti, Al обеспечивают дисперсное упрочнение вследствие образования дисперсных карбидов и нитридов – VC, VN, TiC, TiN, AlN. Проведенные исследования показали, что порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н290 имеет более высокую износостойкость среди других порошковых проволок, обеспечивающих твердость наплавленного слоя 240–300 НВ, при наплавке деталей вагонов.

При наплавке ударных и тяговых поверхностей большого и малого зубьев корпуса автосцепки, а также замыкающей поверхности замка применяют порошковую проволоку марки ВЕЛТЕК-Н290, которая обеспечивает твердость наплавленного слоя 240–300 НВ. Опыт проведения наплавки деталей автосцепного устройства с 2006 г. в соответствии с требованиями типового технологического процесса ЦВ-0072 показал, что указанная порошковая проволока обеспечивает высокое качество наплавки и высокую износостойкость.

Порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н290 является универсальной, то есть может применяться при наплавке как открытой дугой (самозащитная) так и в среде углекислого газа. Она обладает высокой стойкостью против образования дефектов наплавленного металла (пор и трещин). Самозащитная проволока позволяет применять более простое и надежное сварочное оборудование. Не требуется резервуаров для хранения и коммуникаций для подачи углекислого газа, и отсутствуют расходы на его приобретение. Также эта проволока значительно упрощает процесс автоматизации наплавки, что доказывает внедрение в производство Установки для автоматической наплавки зубьев корпуса автосцепки К 07.08 (разработка ПКТБ ЦВ УЗ).

Проволока ВЕЛТЕК-Н290 обеспечивает хорошие сварочно-технологические свойства: стабильное мягкое горение сварочной дуги, качественное формирование валиков наплавленного металла, легкую отделимость шлаковой корки. Эту проволоку изготавливают и поставляют диаметрами от 1,2 мм до 2,8 мм, что позволяет выбрать оптимальную технологию наплавки и оборудование для всей номенклатуры ремонтируемых деталей.

Такие детали тележки как надрессорная балка и боковая рама, а также пятник рамы вагона подвергаются значительным износам при эксплуатации вагона и требуют больших затрат при проведении ре-

монта. Применение порошковых проволок марки ВЕЛТЕК-Н250-РМ и ВЕЛТЕК-Н290 для наплавки изношенных поверхностей указанных деталей позволяет значительно повысить ресурс эксплуатации и уменьшить затраты на ремонт вагонов.

При значительных износах деталей тележек, которые требуют проводить наплавку четырех и более слоев, рекомендовано применять ВЕЛТЕК-Н250-РМ, которая в 3-4 слое дает твердость до 270 НВ, а проволока ВЕЛТЕК-Н290 в 3-4 слое наплавки обеспечивает твердость около 300 НВ, что усложняет механическую обработку деталей.

Пятник рамы вагона во время эксплуатации подвергается большим нагрузкам и интенсивному абразивному износу, что приводит к большому объему наплавочных работ при его ремонте. Для повышения производительности и качества наплавки пятника целесообразно применять Установку для наплавки пятников грузовых вагонов КТ-102 (разработка ПКТБ ЦВ УЗ) с использованием самозащитной порошковой проволоки ВЕЛТЕК-Н250-РМ ∅ 2,0 мм.

Совместно с ДП «Укрспецвагон» была разработана технология наплавки корпуса буксы колесной пары порошковой проволокой марки ВЕЛТЕК-Н290 ∅ 1,2 мм, которая успешно применяется и на других вагоноремонтных предприятиях. Эта технология обеспечивает проведение наплавки на минимальных режимах сварки ($I_{св}$ = 110–170 А, U = 22–26 В), что позволяет снизить тепловложение во время наплавки и предотвратить возникновение значительных сварочных напряжений, что дает возможность предотвратить возникновение деформаций посадочных поверхностей под роликовые подшипники, тем самым избежать отбраковки наплавленных деталей и значительно упрощает технологию их восстановления.

При ремонте пассажирских вагонов в вагонном депо Бахмач и других вагоноремонтных предприятиях широкое применение получила порошковая проволока ВЕЛТЕК-Н490, которая обеспечивает твердость наплавленного слоя не ниже 450 НВ, для наплавки ударных и тяговых поверхностей большого и малого зубьев корпуса автосцепки, а также замыкающей поверхности замка и буферных клиньев.

За годы сотрудничества с вагоноремонтными предприятиями ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» изготовило и поставило вагоноремонтным предприятиям «Укрзалізниці» более 3 тысяч тонн высококачественной порошковой проволоки для ремонта деталей узлов железнодорожных вагонов.

Гончаров О.С. Київський національний
університет технологій та дизайну, Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

На етапі проектування автомобільних доріг актуальною проблемою оцінювання якості геотекстильних матеріалів (ГТМ) є отримання оперативних та достовірних даних щодо показників їх довговічності під дією динамічних навантажень [1]. Існуючі методи визначення показників ГТМ, що регламентуються нормативною документацією [2] не передбачають оцінювання довговічності при експлуатаційних навантаженнях, а також не дозволяють отримувати порівняльну оцінку якості матеріалів різних виробників та здійснювати вибір оптимальних з них для заданих умов експлуатації.

Одним із методів, що дає можливість оперативно визначати властивості ГТМ є проведення прискорених випробувань на довговічність при динамічних навантаженнях та обробка отриманих результатів методами інтелектуального аналізу на основі нейромережного прогнозування.

Для розробки та реалізації методу на першому етапі досліджень за методикою [3] були проведені прискорені випробування зразків геотекстильних матеріалів. Випробування проводилися з метою визначення відносного видовження l_p та кількості циклів динамічних навантажень n_p при розриві. Для створення динамічних навантажень при проведені випробувань використовується прилад FF-05, який працює за принципом здійснення циклів навантаження-розвантаження з постійними заданими амплітудою та величиною навантаження на дослідний зразок.

Вихідним матеріалом для зразків обрано найбільш поширений у вітчизняній практиці дорожнього будівництва геотекстильний матеріал марки Typar типів SF-40, SF-49 та SF-56. Було відібрано по 45 зразків кожного типу матеріалу. Вибір таких типів ГТМ обумовлено рекомендаціями виробника для основних категорій автомобільних доріг, а саме: SF-40 – для доріг з полегшеним типом покриття, SF-49 – для доріг, що використовуються для проїзду легкових автомобілів та SF-56 – для доріг, що використовуються для проїзду важких транспортних засобів.

Результати випробувань 135 дослідних зразків трьох типів ГТМ наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати статистичного аналізу результатів випробувань зразків

Тип матеріалу	Відносне видовження при розриві, %				Кількість циклів до розриву, тис.			
	$\overline{l_p}$	СКВ, %	$l_p^{\min}$	$l_p^{\max}$	$\overline{n_p}$	СКВ, тис	$n_p^{\min}$	$n_p^{\max}$
SF-40	41	6,1	35	52	729	469	347	2256
SF-49	43	5,4	33	46	2347	648	986	3571
SF-56	45	5,5	35	48	3123	804	1986	4848

На наступному етапі досліджень на основі отриманих експериментальних даних для скорочення часу визначення кількості циклів до розриву було побудовано прогнозну нейромережну модель в середовищі Deductor Studio Academic.

Для побудови моделі в якості навчальної вибірки обиралися значення кількості циклів навантажень при досягненні заданої довжини видовження зразка. Вихідною змінною було значення кількості циклів навантаження при розриві. Кількість прикладів для навчальної та тестової вибірок становила 120 та 12 відповідно. Вихідною умовою точності моделі було досягнення похибки прогнозування, яка не перевищує 0,1.

На етапі опробування розробленого методу було проведено випробування зразків геотекстильного матеріалу вітчизняного виробництва (табл. 2.)

Таблиця 2 – Результати випробувань зразків ГТМ вітчизняного виробництва

№ зразка	Кількість циклів навантажень, тис												Кількість циклів до розриву, тис	
	відносне видовження, %												реальне значення	прогнозне значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	0	0	0	0	0	0	1	12	34	51	76	105	894	958
2	0	0	0	0	0	0	1	8	29	48	67	97	725	694
3	0	0	0	0	0	1	7	28	53	84	109	131	1013	1105
4	0	0	0	0	0	0	1	6	21	39	54	88	659	673
5	0	0	0	0	0	1	9	39	68	92	117	142	1048	1069

Аналіз табл. 2 показує, що дослідний матеріал вітчизняного виробництва є аналогом матеріалу SF-40 і його доцільно використовувати при проектуванні та будівництві доріг із полегшеним типом покриття.

Висновки. В результаті проведення досліджень розроблено метод оцінювання якості геотекстильних матеріалів, що дозволяє оперативно визначати характеристики довговічності матеріалу та здійснювати обґрунтований вибір найбільш оптимальних з них для заданих умов експлуатації.

Література

1. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Проектування та будівництво: ДБН В.2.3-4:2007. Чинний від 01.03.2008. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.

2. Матеріали геотекстильні. Методи випробувань: СОУ 45.2-00018112-025:2007. Чинний від 01.03.2008. – К.: Укравтодор, 2007. – 109 с.

3. Вплив багатоциклових навантажень на експлуатаційні характеристики геотекстильних матеріалів / О.С. Гончаров, Л.А. Дмитренко, Г.Т. Костенко, І.П. Гамеляк // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 2 – С. 189–194.

Грецкий Н.Л. ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси,
Волотовский Ф.А., Корзун А.Е. ОАО «ОКБ Академическое» НАН Беларуси,
Хилько Д.Н. ООО «Штрабак Инжиниринг Центр» НАН Беларуси,
Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь,

ПОСЛОЙНОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Для улучшения комплекса параметров качества восстановления и упрочнения изношенных поверхностей деталей с минимальными затратами предложен комплексный метод с применением электрофизических источников энергии. Суть данного метода заключается в избирательно-комбинированном сочетании разнообразных технологических воздействий. Физико-механические свойства получаемых покрытий формируются в процессе наплавки легированных

ферромагнитных порошков (ФМП), с возможностью одновременного поверхностно-пластического деформирования (ППД), а геометрические характеристики формируются в процессе наплавки низколегированной углеродистой проволоки, с возможностью одновременного упрочняюще-размерного ротационного резания.

Оборудование необходимое для нанесения ФМП, должно иметь возможность совмещать процесс упрочнения деталей ферропорошками в электромагнитном поле с ППД. Для устойчивости процесса и качества формирования покрытий в электромагнитном поле необходимо учитывать форму полюсного наконечника, направление электрического тока и магнитной индукции, а также фазовые сдвиги напряжений, питающих электромагнитную катушку и сварочный трансформатор. Наибольшие перенос порошка, производительность и стабильность процесса обеспечиваются при подключении установки по схеме, когда электрический ток и магнитная индукция имеют направление от полюсного наконечника к детали.

В зависимости от фазового угла смещения напряжений, питающих электромагнитную катушку и сварочный трансформатор, можно получать различные по физико-механическим свойствам и технологическому применению покрытия. Для упрочнения поверхностей с последующей обработкой до первоначального размера, с оставлением при этом только диффузионного слоя, применяется режим обработки, в котором напряжение, питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения, питающего электромагнитную катушку, на угол 60˚. Режим, в котором напряжение, питающее сварочный трансформатор, отстает от напряжения, питающего электромагнитную катушку, на угол 120˚, рекомендуется для восстановления и упрочнения, изношенных до 0,3 мм поверхностей деталей в сочетании с ППД. Режим, когда отсутствует фазовое смещение напряжения, питающее сварочный трансформатор, относительно напряжения, питающего электромагнитную катушку, целесообразно использовать при комбинированном восстановлении и упрочнении поверхностей деталей машин со значительным износом до 1,5 мм при последующей наплавке низколегированной углеродистой проволокой.

Совмещение наплавки низколегированной углеродистой проволоки в защитной среде с термомеханической обработкой ротационным инструментом в момент кристаллизации наплавленного слоя благоприятно сказывается на уменьшении количества или размера пор, трещин и на увеличении усталостной прочности деталей. Использование ротационного самовращающегося резца в качестве де-

формирующего инструмента позволяет не только улучшить физико-механические характеристики наплавленного слоя, но и обеспечить путем завальцовывания впадин между сварочными швами, залечивания пор и трещин геометрические параметры качества, резко сокращающие последующую механическую обработку.

Оптимизация качества поверхностного слоя покрытия, получаемого в процессе упрочняюще-размерной обработки ротационным резцом, совмещенной с электродуговой наплавкой низколегированной углеродистой проволоки в среде углекислого газа, осуществлялась по расстоянию от сварочной ванны до инсрумента. Полученные результаты позволяют рекомендовать при упрочняюще-размерной обработке самовращающимся ротационным резцом, совмещенной с электродуговой наплавкой низколегированной углеродистой проволоки в среде CO_2 устанавливать ротационный резец на расстояние L = 10–15 мм от наплавочного электрода. При этом геометрические параметры качества поверхностного слоя покрытия будут оптимальны и составят $S_{mW} \approx$ 2–4 мм, $Ra \approx$ 6–10 мкм.

На подготовленные заготовки из стали 45 комплексным методом были нанесены покрытия (табл. 1): высоколегированные ферромагнитные порошки различного состава в сочетании с ППД и последующей наплавкой низколегированной углеродистой проволоки Нп-30.

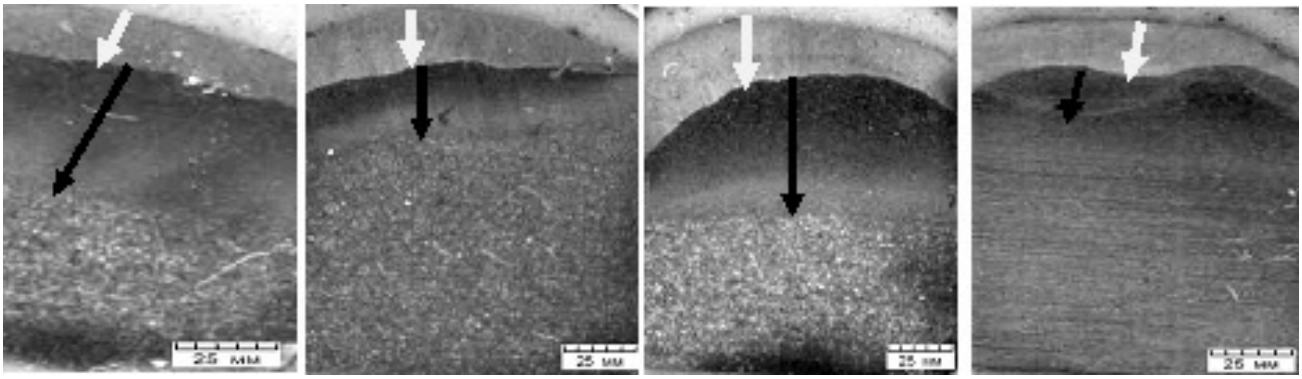
Таблица 1 – Характеристики образцов

№ образца	Комплексный метод послойного восстановления и упрочнения поверхностей			Толщина модифицированных зон, мкм	
	наплавляемый порошок	ППД	наплавка проволоки	1	2
1	Fe-TiC	-	Нп-30	10	35
2	Fe-TiC	+	Нп-30	10	15
3	FeV(5%V)	-	Нп-30	20	40
4	FeV(5%V)	+	Нп-30	15	10

Шлифы для металлографического анализа изготавливали по общепринятой методике. Травление на микроструктуру проводили 4%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Анализ микроструктуры проведен на металлографическом комплексе на основе микроскопа МИКРО-200. Количественный анализ микроструктуры проведен в программе обработки изображений IMAGE-SP.

В результате травления слой наплавленного материала по отношению к материалу основы выявляется достаточно четко за счет разной травимости обоих материалов. Вследствие данной особенности можно точно определить величину зон, образующихся в результате наплавки.

На рис. 1 представлена макроструктура образцов с обозначением зон, образующихся при наплавке. Светлой стрелкой отмечена зона непосредственного воздействия при наплавке; эта зона отвечает участку с проволокой. Далее следует зона, сформированная при диффузии порошковой смеси; отмечена темной стрелкой. Данные определения ширины зон в наиболее широкой части представлены в табл. 1.



1 *2* *3* *4*

Рисунок 1 – Структура образцов, восстановленных комплексным методом

При изучении микроструктуры образцов выявлено, что кроме зоны наплавки, образующейся в результате непосредственного нанесения ферромагнитного порошка и последующей наплавки низколегированной проволоки, в структуре присутствуют еще несколько зон.

Зона наплавки характеризуется дисперсным, относительно равноосным зерном. Далее следует зона столбчатой структуры, ориентированная по направлению теплоотвода. Ниже идет зона достаточно мелких, равноосных зерен с вкраплениями дисперсной фазы, расположенной по границам зерен. В следующей зоне видимое зерно еще более измельчается, а количество светлой фазы становится больше. Данная фаза наиболее активно формируется по границам вновь образующегося зерна. Ниже, это зерно уже полностью сформировалось, при этом светлая фаза выглядит как оторочка в виде сплошной и прерывистой сетки вокруг темных зерен. Темное зерно на снимках является перлитом, а светлая оторочка – ферритом. Ниже микроструктура по виду все более приближается к микроструктуре основного материала.

Структура зон стальных образцов после наплавки может быть классифицирована как феррито-перлитная различной степени дисперсности с различным содержанием углерода. Морфология структуры определяется скоростью охлаждения в конкретной зоне.

Таким образом, комплексный метод упрочнения и восстановления с применением электрофизических источников энергии дает возможность не только обеспечить нужные геометрические характеристики поверхности при восстановлении, но и повысить физико-механические свойства материала поверхностного слоя при упрочнении.

Гречихин Л.И. Белорусская ГАС, Минск, Беларусь
Куць Н.Г., Добровольська Л.Н. Луцкий национальний технічний університет, Луцк, Украина

ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАДИОШУМА

Безопасность движения транспортных средств определяется правильной работой как тепловых, электрических и других типов двигателей, так и минимальным фрикционным взаимодействием разных пар трения. Поэтому непрерывная техническая диагностика работающих двигателей и анализ изменения сил трения в процессе движения транспортного средства является весьма актуальной темой. Из всех методов непрерывной технической диагностики работающих разных типов двигателей и опасного изменения сил трения в процессе движения транспортного средства наиболее перспективным является метод, основанный на анализе радиошума, возникающего в процессе функциональной работы разных устройств в сложной технической системе.

В связи с этим, возникает цель разработать дистанционную и бортовую аппаратуру анализа и принятия правильного решения на продолжение движения или оптимального управления путем анализа радиошума каждого работающего отдельного блока, как в автоматизированном, так и в автоматическом режиме. Для решения этой задачи необходимо разработать метод измерения интегральной мощности радиошума, метод идентификации спектра модуляций интегральной мощности и провести анализ полученных результатов.

Для электрических двигателей радиошум возникает вследствие образования токов смещения в электрических контактах. В камере сгорания теплового двигателя происходит разделение электрических зарядов и на выходе из выхлопного отверстия разделенные заряды нейтрализуются, и это приводит к возникновению электромагнитного излучения в радиочастотной области, которое распространяется, как в окружающей среде, так и проникает внутрь транспортного средства. Максимум радиоизлучения разных работающих двигателей сосредоточен в области 90–150 кГц [1].

В парах трения радиошум возникает вследствие наличия контактной разности потенциалов. Радиоизлучение промодулировано работой компрессора, турбиной и различными механическими нагрузками, которые испытывает корпус транспортного средства. Внутри транспортного средства радиоизлучение распространяется как по волноводу, заполненному плазмой. Радиочастотный сигнал промодулирован по частоте и амплитуде. Модуляция по частоте и амплитуде осуществляется процессом нестационарного горения топлива.

Если датчики радиошума размещены внутри транспортного средства, то влияние атмосферных шумов не должно сказываться вследствие экранировки металлическим корпусом. Внешние и внутренние механические воздействия на корпус транспортного средства сосредоточены в области частот 10–1000 Гц, а эрозионное горение топлива – в области частот 1500–3500 Гц. Такое разделение по частоте разных механизмов модуляции используется для непрерывной технической диагностики работающих тепловых двигателей. При этом измеряются интегральная мощность излучения в области частот 10–1000 Гц и в области частот 1500–3500 Гц.

В процессе движения транспортного средства можно провести исследование спектральной мощности радиошума для распознавания образов полученного спектра амплитудных модуляций от эталонного. Критерием принятия правильного решения является отклонение от заданной амплитуды и частоты, как отдельной спектральной составляющей, так и по многим составляющим.

Проведенный анализ радиошума работающего двигателя позволяет правильно обосновать требования к разработке бортового автомата принятия правильного решения о продолжении движения, а дистанционно осуществлять полную техническую диагностику. Более подробную информацию о техническом состоянии работающих двигателей получают путем применения автокорреляционной обработки сигнала.

Автокорреляционный анализ радиошума позволяет получать спектр амплитудных модуляций. Предварительно для каждого двигателя получают спектр амплитудных модуляций и заносят в долговременную память бортового компьютера. В результате применения Фурье анализа и корреляционной обработки полученной информации идентифицируется полный портрет технического состояния автомобиля при его движении [2].

Обширные исследования характера радиоизлучения были выполнены на автомашинах с карбюраторными двигателями и искровым зажиганием. Общий характер радиоизлучения был получен для машин АЗЛК, КАЗ-608, ЛАЗ-695. В результате установлено наличие интенсивного радиоизлучения у всех автомашин при их движении в области частот 90 150 кГц.

Интегральная, спектральная и корреляционная обработка радиосигнала позволяют определять все основные параметры работающих двигателей, величину внутренних фрикционных связей и характер внешнего воздействия на движущееся транспортное средство. Это позволяет определять возможность дальнейшего практического использования данного транспортного средства и осуществлять оптимальное его управление.

Литература

1. Куць Н.Г., Гречихін Л.І. Радиотехническая диагностика транспортных систем // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – вип. № 7. –2016 – С. 32–41 .

2. Гречихин Л.И. Двигатели внутреннего сгорания. Физические основы технической диагностики и оптимального управления. – Мн.: Навука і техніка, 1995. – 270 с.

Гречук А.И, Девин Л.Н. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

КОНСТРУКЦИЯ СВЕРЛА СО ВСТАВКАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ

Современное машиностроение увеличивает темпы использования волокнистых композиционных материалов (ВПКМ). Соотношение прочности к весу, жесткости, коррозионная и электромаг-

нитная стойкость и высокая теплопроводность [1] делают ВПКМ незаменимыми конструкционными материалами. За последние десятилетия наблюдается скачек применения ВПКМ в самолетах производящих ГП «АНТОНОВ» и зарубежных предприятий «BOEING» и «AIRBUS». Их изделия на сегодняшний день содержат до 50% композиционных материалов [2]. Большинство деталей из ВПКТМ скрепляются болтовыми или клепочными соединениями. Поэтому актуальной задачей является сверление в них большого количества отверстий. Например, для изготовления небольшого самолета необходимо изготовить 100 тыс. отверстий и миллионы для большого транспортного самолета [3].

Сверление изделий из ВПКМ сопровождается рядом явлений, которые не встречаются при традиционной металлообработке. Это обуславливает возникновение ряда специфических дефектов, способных снизить качество отверстия [4]. К таким дефектам можно отнести: деламинацию (расслоение), несрезанные волокна, выкрашивание и термодеструкцию.

Рисунок 1 – Специальное сверло

С целью обеспечения высокого качества сверления отверстий в волокнистых композиционных материалах в Институте сверхтвердых материалов имени В.Н. Бакуля НАН Украины было разработано и изготовлено специальное сверло (рис. 1) [5].

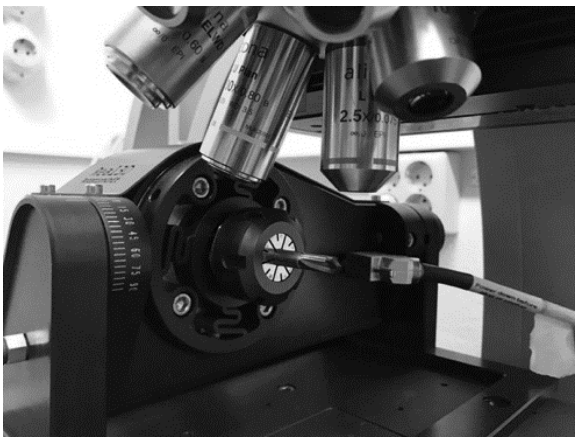
Сверло имеет форму перьевого сверла, оснащенного двумя симметрично расположенными алмазно-твердосплавными пластинками или пластинками из КНБ и двумя прямыми канавками. Режущая часть сверла представляет собой две главные режущие кромки, две вспомогательные и ломаную перемычку, которая состоит из сверхтвердого материала на периферии и твердого сплава в центре. Острие сверла подвергается значительному износу во время сверления, а так как сверхтвердые материалы в основном отличаются высокой твердостью, острие обеспечит высокую износостойкость.

Вспомогательные режущие кромки параллельны оси сверла, что обеспечивает дополнительную обработку поверхности отверстия и срезание ранее не срезанных волокон на входе сверла.

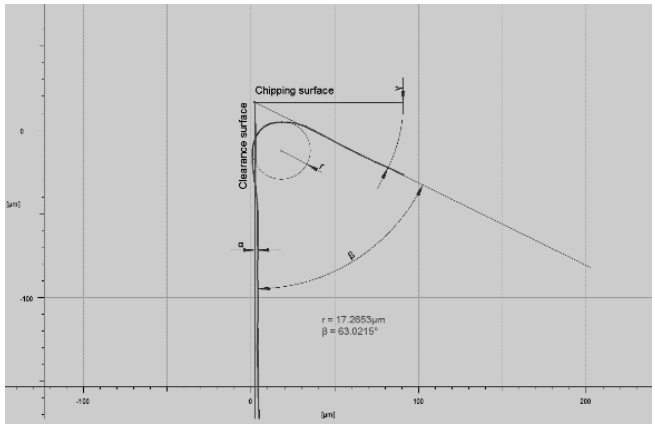
В отличие от спиральных сверл, которые применяются во всех отраслях машиностроения, передняя поверхность разработанного специального сверла является плоской. Такое решение обеспечива-

ет постоянный передний угол вдоль главных и вспомогательных режущих кромок. Также, передняя поверхность состоит из алмаза или КНБ, что обеспечивает высокую теплопроводность, низкую теплоемкость и снижает трение со стружкой. Дополнительная доводка передней поверхности понижает шероховатость и уменьшает радиус скругления режущих кромок.

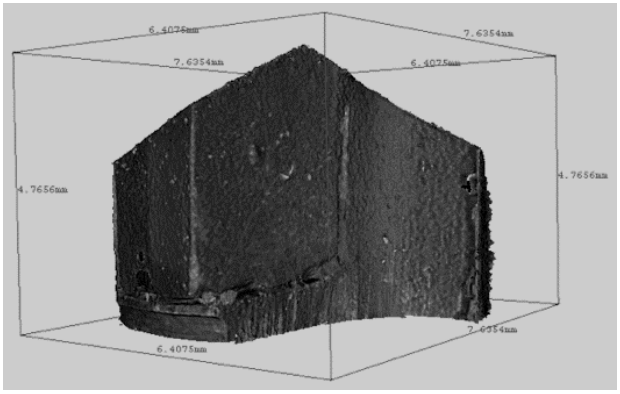
Контроль геометрии сверла был произведен на 3D микроскопе Alicona Infinite Focus (рис. 2, *а*) в Лундском университете (Швеция). Радиус закругления сверла был измерен, используя стандартную утилиту Alicona – IF-Edge Master Module путем построения 50 сечений вдоль режущей кромки. Профиль с усредненными значением, изображен на рис. 2, *б*. Для определения параметров геометрии вспомогательных режущих кромок была создана 3D модель сверла (рис. 2, *в*) и построены различные сечения, пример которых показан на рис. 2, *г*. Геометрические параметры специального сверла: углы: задний –9,89°, задний вспомогательный – 14,96°, передний – 1,91°, в плане – 119,8°; диаметр – 7,9 мм; радиус РК – 17,26 мм.



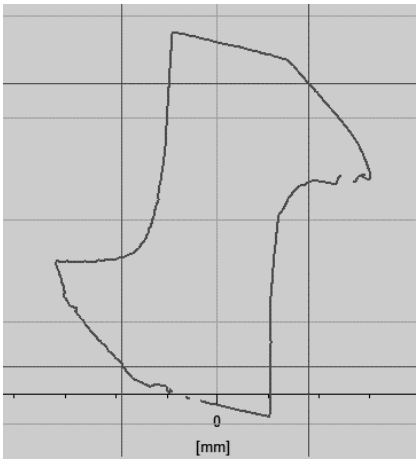
а



б



в



г

Рисунок 2 – Измерение геометрии сверла

Сверло показала хорошую работоспособность и высокое качество обработанных отверстий при испытаниях при сверлении образцов серийного стеклопластика НТК Антонов (г. Киев) с ортотропным армированием, толщиной 4 мм. Результаты исследований показали, что использование сверхтвердых материалов в лезвийном инструменте является эффективным при сверлении волокнистых полимерных композиционных материалов.

Литература

1. Liu D.F., Tang Y.J., Cong W.L. A review of mechanical drilling for composite laminates // Composite Structures. – 2012. – V.94, №.4. – P. 1265–1279.

2. Кива Д.С. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в конструкциях пассажирских и транспортных самолетов (1970–1995 гг.) // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 6. – С. 5–16.

3. Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model / S.R. Karnik, V.N. Gaitonde et al. // Mat. and Design. – 2008. – №29. – P. 1768–1775

4. Machining of carbon fiber reinforced plastics/polymers: A literature review / D. Che et al. // J. of Manufact. Sc. and Eng. – 2014. – V. 136. – №.3

5. Пат. UA112821U МПКВ23В 51/08 (2006.01)/Свердло для обробки полімерних композиційних матеріалів / Л.Н. Девин, А.И. Гречук, В.М. Боженок // Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України// 26.12.2016, Бюл.№ 24.

Григор'єва Н.С. Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

ОСНОВИ ВІРТУАЛЬНОЇ РОЗРОБКИ МОДУЛЬНИХ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

Концепція віртуальної розробки якісних модульних складальних процесів (МСП) і проектування переналагоджуваного технологічного обладнання в тому числі і виробів, що виготовлятимуться в такому виробництві, полягає в одержанні динамічного віртуального образу на комп'ютері технологічного та конструкційного інтерактивного середовища, яке включає в себе деякий набір технічних, про-

грамних і апаратних засобів, а також моделюючих, інформаційних і інтелектуальних ресурсів для забезпечення високої якості об'єктів віртуальної розробки за рахунок оптимального управління станом вказаних середовищ. Віртуалізація конструкційних розробок виробів і переналагоджуваного технологічного обладнання та оснащення передбачає наявність віртуальних суб'єктів конструкційного середовища та віртуальних форм їх взаємодії, в результаті чого повстає віртуальна конструкція виробу, котра проектується, чи процесу, що розробляється. Подібно при віртуалізації технологічних розробок передбачається наявність віртуальних суб'єктів технологічного середовища з віртуальними взаємозв'язками. При цьому під віртуальним суб'єктом розуміється сукупність технічних, апаратних і програмних засобів, які змінюються в часі в період його формування та є об'єднаними в цілісну структуру.

Віртуальне представлення МСП матиме велике значення в майбутньому комп'ютерно-інтегрованому виробництві, оскільки в комп'ютерному середовищі можна швидко розробити креслення об'єктів конструкції (виробів і технологічного оснащення), повністю підготовлених до конкретних умов гнучкого виробництва, розробити оптимальний варіант модульного технологічного процесу автоматичного складання, підібрати або запроектувати найбільш підходяще для нього переналагоджуване технологічне обладнання та оснащення. Але головним при цьому є все таки те, що відкривається можливість перегляду на комп'ютері віртуальної реалізації МСП, а також проглянути одержану майбутню експлуатацію як складаного виробу в цілому, так і віртуального переналагоджуваного технологічного обладнання та оснащення. Створюється майже ідеальна ситуація, коли при відсутності реальних технологій та конструкцій, відкривається можливість роботи з їх віртуальними прототипами. Особливо цінно те, що на підставі одержаних результатів роботи віртуальних об'єктів з метою підвищення якості та конкурентності можна ввести всі необхідні зміни як в віртуальну конструкцію об'єктів, так і в модульні технологічні процеси. Можна певно стверджувати, що ні одна з відомих методик не забезпечить такі високі результати. Фактично працемісткість оптимізації складальної конструкції та технології замінюється розрахунком і моделюванням потрібних параметрів на комп'ютері за значно коротший час. Головною метою розробки віртуального модульного складання є підвищення якості виробів, що складаються, конкурентності при значному зменшенні часових і грошових витрат.

Технологія та конструкція віртуального гнучкого складання - це інтерактивна технологія та конструкція, котра дозволяє отримати комп'ютерне адекватне відображення реальної складальної перенаалагоджуваної конструкції об'єктів і гнучкої складальної технології. Елементами такої технології та конструкції виступають математичні моделі (рис.1): складального виробу, його вузлів і деталей; модульної технології виконання; передбачуваної віртуальної експлуатації одержаних конструкцій виробу та переналагоджуваного обладнання; формування показників якості виробу та його модульної технології автоматичного складання; формування показників конкурентності; внесення покращувальних змін в віртуальну конструкцію та технологію.

Математичні моделі конструкцій складального виробу та переналагоджуваного складального обладнання з оснащенням забезпечують можливість їх проектування на високому рівні. Проектування оптимального варіанту конструкції пов'язане з вибраними критеріями, а проблема оптимізації як конструкції, так і гнучкої технології з реалізацією одно- чи багатокритеріальних моделей. В загальному завдання зводиться до математичної задачі визначення на допустимій множині необхідного поєднання параметрів, які забезпечують екстремальне значення функції мети. Оскільки об'єкти складального виробництва в дійсності є багатоцільовими, то слід застосовувати багатокритеріальні та багатопараметричні оптимізаційні

Рисунок 1 – Блок-схема формування віртуальної модульної конструкції та технології конкурентних виробів і складального обладнання

моделі, котрі дозволяють враховувати різноманітні умови функціонування, всі завдання що виконуються, їх взаємопов'язання, декілька параметрів функції мети, складність гнучкої складальної системи, проводити імітаційне моделювання структурних і параметричних характеристик гнучких систем складання в режимі реального часу, тощо. Для реалізації підходу можна та слід використати відомі методи і алгоритми оптимізації, програмне забезпечення. Наприклад, в тепер засобом створення різних моделей гнучкого автоматичного складання є версія 5.10 відомої системи тримірного твердотілого моделювання, проектування складальних конструкцій і технологій, їх автоматичного складання *КОМПАС-3D* фірми *Askon*.

Методологія автоматичного проектування віртуальних конструкцій повинна бути строго орієнтована на *CIM*. Одна з таких відомих методик *DMA* (*Design for Manufacture and Assembly*) передбачає широке використання проблемно-орієнтованих систем *QFD*, *DFM*, *CAD/CAM/CAE*, *CAP*, *CAQ*, *PPS* і ряду інших. Інша система *DFM* (*Design for Manufacture*) дозволяє попередньо оцінювати виробничі витрати на виготовлення, що має велике значення для конкурентоспроможності виробів.

В технологічному напрямку використовуватимуться складальні технології типу *CALS*, *ИПИ*, гібридів і інших, концепції віртуального моделювання складальних процесів, нового покоління переналагоджуваного технологічного обладнання та оснащення. Дуже важливим є імітаційне моделювання структурних і параметричних характеристик модульних складальних процесів в режимі реального часу. Передбачається більш тісна взаємоув'язка модульних інтегрованих складальних процесів не тільки з конструкцією автоматично складаного виробу чи його експлуатацією, але і з переналагоджуваним складальним обладнанням, системами управління, діагностики, обслуговування тощо. Використовуватиметься комп'ютерне програмне забезпечення модульного складання, а також нова мікропроцесорна складальна техніка. Це в першу чергу стосується інтелектуальних, адаптивних, програмно-орієнтованих і інших систем. Заслуговують уваги використання *Internet*- систем в *WEB*- інтегрованому модульному складальному виробництві. На основі *Internet* в середовищі *CALS*-технологій з використанням *CASE*- засобів можна серед всього іншого забезпечити оптимальну апаратну комплектацію засобів модульного складального виробництва.

Організація модульних складальних процесів розробляється також віртуально і передбачує вдосконалення відомих форм і розро-

бок нових в *CIM* і *CIMS*. В першу чергу це організація робочих місць модульного складання, орієнтованих на безлюдне складальне виробництво та безпаперові технології. Подальший розвиток одержить організація технологічних процесів відповідно системі *DSS*, яка реалізує технологію *OLAP*. Тут і інтелектуальний аналіз даних, інформаційні їх сховища, гібридні системи планування, системи управління персоналом, управління конкурентністю тощо. Важливими при цьому є планування виробничих засобів (*MRP*), стратегія *JIT*, економна продукція (*Lean Production*) та управління (*Lean Management*), управління вузькими місцями (*OPT*), системи „штовхання" – *push* (*MRP-II* і інші), „висмоктування" – *pull* (*PIT* і інші), „витискування" – *squeeze* (*OPT* і інші). Ці системи передбачають комп'ютерну координацію засобів і потреб на загальній інформаційній базі з багаторазовим узгодженням і повторенням.

Література

1. Григор'єва Н.С. Науково-технічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів. –Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.

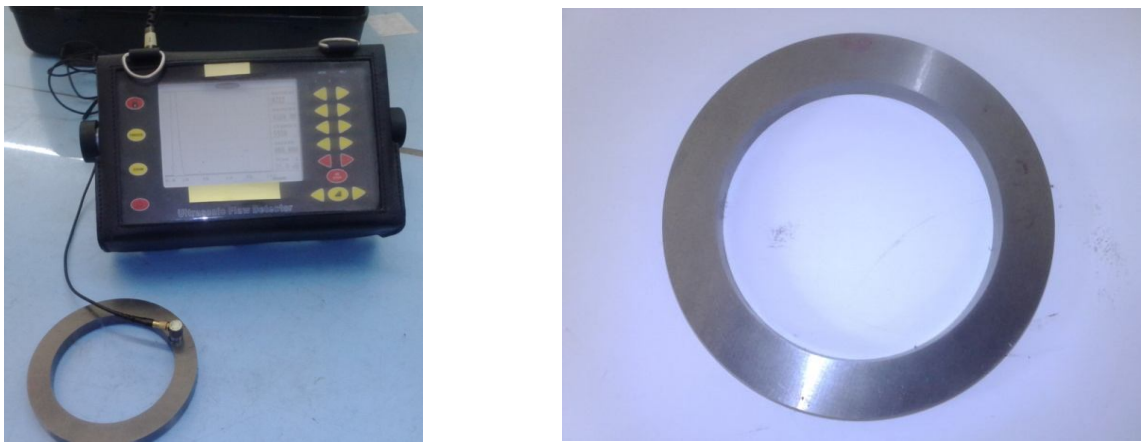
Девин Л.Н, Бондаренко В.П., Барановский А.М., Рычев С.В., Андреев И.В. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СТРУКТУРЫ СУХИХ ТОРЦЕВЫХ ГАЗОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ УЗ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Сухие газовые уплотнения (СГУ) уже более 20 лет эффективно применяются в энергетических установках различных фирм мира. В настоящее время 80% парка центробежных компрессоров оснащено подобными системами [1]. Одной из важных проблем, связанной с изготовлением и эксплуатацией колец уплотнительной пары, является дисбаланс заготовок из твердого сплава, обусловленный дефектами структуры материала. Наиболее часто при спекании твердосплавных деталей наблюдаются трещины, поры, расслоения, различные неоднородности [2]. При скорости вращения колец 18000 об/мин. и выше это может привести к выходу из строя системы. Однако устранив и

выявив дефекты на этапе изготовления, можно тем самым повысить эксплуатационные характеристики изделий и их надежность.

Одним из методов неразрушающего контроля для выявления таких дефектов структуры в виде несплошностей (пор) данных деталей является ультразвуковая дефектоскопия. В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины был проведен неразрушающий контроль на ультразвуковом дефектоскопе Einstein II (рис. 1, *а*) при помощи совмещенного ультразвукового преобразователя Modsonic K5K с рабочей частотой 10 МГц деталей торцевого уплотнения (рис. 1, *б*) наружным диаметром $D_{нар.}$= 129 мм и внутренним $D_{внут.}$= 94 мм, высота образца h = 12,3 мм, материал твердый сплав ВК8.



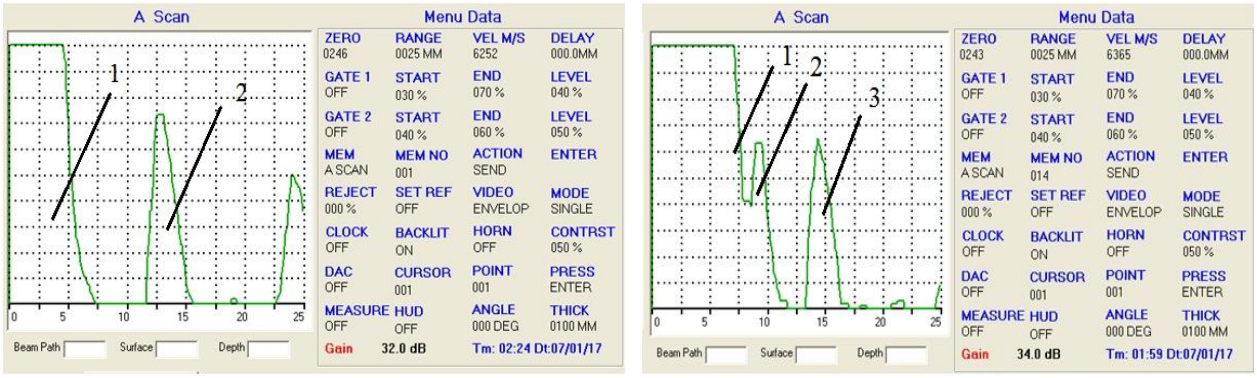
а *б*

Рисунок 1 – Ультразвуковой дефектоскоп Einstein II в процессе мониторинга (*а*) деталь торцевого уплотнителя (*б*)

Во время мониторинга поверхности заготовки ультразвуковой сигнал выводился на экран прибора с возможностью записи осциллограммы и ее выводом на ПК с помощью программы EinSoft. На рис. 2, *а* представлена фотография осциллограммы УЗД сигнала с участка детали торцевого уплотнения, не содержащего нарушений структуры, где *1* – зондирующий импульс, *2* – эхо-сигнал от отраженной нижней поверхности детали на расстоянии равной высоте образца. На рис. 2, *б* представлена фотография осциллограммы УЗД сигнала с участка детали торцевого уплотнения содержащего дефект, где *1* – зондирующий импульс, *2* – эхо-сигнал от дефекта, *3* – эхо-сигнал, отраженный от нижней поверхности детали.

Следовательно, кольцо содержит один дефект, расположенный на расстоянии 1/3h от нижней поверхности. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что использование ультразвукового метода неразрушающего контроля твердосплавных

изделий СГУ является необходимой технологической операцией. Контроль с помощью ультразвуковой дефектоскопии позволяет снизить аварийности в процессе эксплуатации уплотнений.



а *б*

Рисунок 2 – ультразвуковой сигнал торцевого уплотнителя без дефекта (*а*) с дефектом в кольце (*б*)

Литература

1. Степовиков С. Н. Принцип действия, технологические стандарты и требования к проектированию и эксплуатации систем сухих газовых уплотнений // Нефтяное дело. – 2005 – С. 1–20.

2. Девин Л.Н., Нимченко Т.В., Найденко А.Г. Мониторинг дефектности твердосплавных изделий с помощью УЗ дефектоскопии // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Мат. 8-й Международ. науч.-прак. конф., 23-26 сент. 2008 г., г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2008. – С. 33–36.

Девин Л.Н., Гречук А.И. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Гаевский М.Л. НТУ Украины «КПИ им. И. Сикорского», Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ЗАДНЕГО УГЛА НА ИЗНОС РЕЖУЩИХ КРОМОК СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА

В современном машиностроении доля композитных материалов (КМ) с каждым годом становится более значительной. Без КМ уже не может обойтись авиа- и ракетостроительная промышленность, в меньшей мере автомобилестроение, ветровая энергетика и строи-

тельство жилых помещений. С каждым годом появляются новые типы материалов, которые требуют инструмента, способного обрабатывать его максимально эффективно.

При изготовлении изделий из угле- и стеклопластиков применяют следующие типы механической обработки: точение, сверление, развертывание, фрезерование, разрезание, шлифование и нарезание резьбы. Среди данных видов механообработки, наиболее распространено сверление. По некоторым оценкам, доля сверления в обработке КМ достигает 37% [1].

В угле- и стеклопластиках в процессе производства требуется сверлить большое количество отверстий, часть из которых используется под болтовые или заклепочные соединения. Требования по точности для данных отверстий находится в диапазоне 9-11 квалитета.

Сверление угле- и стеклопластиков имеет некоторые особенности по сравнению с механической обработки металлов. Это объясняется тем, что структура и свойства этих материалов значительно отличаются. В КМ очень ярко выражена анизотропия свойств материала, относительная сложность получения поверхности высокого качества, высокая твердость наполнителя, а также низкая теплопроводность КМ и абразивное действие наполнителя.

Экспериментальное исследование заключалось в определении износа режущих кромок сверла и влиянии на износ заднего угла спирального сверла при сверлении заготовок из углепластика.

Исследование проводили с измерением сил резания на автоматизированном стенде для исследования процессов резания [2] на базе токарного станка ТПК-125ВМ. В качестве обрабатываемого материала был использован углепластик с ортотропной схемой армирования [0/90/0/90/0..], состоящий из 16 слоев, толщиной 12 мм и содержащий 70% углеродного волокна.

В исследовании использовали двухперьевые спиральные сверла фирмы Bosch (Германия) из быстрорежущей стали (HSS-G), ∅ 8 мм. Выполнялась двухплоскостная заточка режущих частей сверл.

Измерение геометрии сверл было произведено с помощью 3D микроскопа Alicona Infinite Focus в Лундском университете (Швеция). Радиус закругления режущей кромки сверла был измерен, используя стандартную утилиту Alicona – IF-Edge Master Module путем построения 50 сечений на периферическом участке режущей кромки длинной 2 мм. Общая длина режущей кромки составляла 4,2 мм. Параметры геометрии режущей части сверла представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры сверла

Угол, град.			Радиус РК, мкм		Износ, мкм
задний	задний вспом.	в плане	новое	изношенное	
9,7	30	119,8	8,7	24,7	65
20,4		120	9,4	18,4	73

Сверление проводили с постоянной скоростью резания 25 м/мин и подачей 0,08 мм/об. До измерения износа каждым сверлом было просверлено 12 отверстий, что суммарно равно 144 мм пути. Износ режущих кромок сверл определяли по задней поверхности. Измеряемые параметры представлены в табл. 1 (рис. 1).

В результате износа радиус режущей кромки сверла №1 увеличился в 2,8 раза, в то время как сверла 2 в 1,9 раза. При этом износ сверл отличается не более чем на 10%.

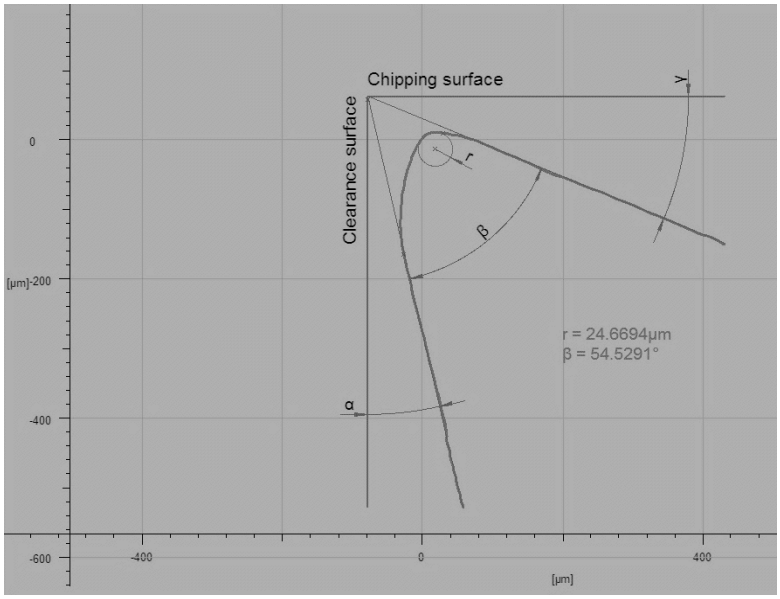


Рисунок 1 – Износ режущей кромки сверла

Анализ полученных данных позволяет заключить, что для обеспечения меньшего радиуса закругления режущих кромок спирального двухперьевого сверла в случае абразивного износа при обработке углепластиков, следует изготавливать задний угол близкий к 20 градусам. Углы более 20 градусов могут привести к сколу режущей кромки.

Углепластик относится к труднообрабатываемым материалам, обработка которых сопряжена с достижением критического абразивного износа за короткий промежуток пройденного сверлом пути.Так как радиус закругления режущей кромки является одним из ключевых параметров для обеспечения необходимого качества отверстий при сверлении волокнистых композиционных материалов, для его достижения, следует изменять традиционные для металлообработкипараметры геометрии спиральных сверл, учитывая специфику обрабатываемого материала.

Литература

1. Милокост І.О. Підвищення якості отворів при свердлінні тонкостінних виробів з ортотропних вуглепластиків: дис..канд. техн.. наук. – К.: КПІ, 2016 – 165 с.

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Стахнив М.Н. Автоматизированная система исследования процесса резания // Резание и инструменты в технологических системах: Сб. наук. тр. – Харько: НТУ «ХПИ», 2006. – вып. 64. – С. 178–183.

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е, Мельничук Ю.А.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ИСЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИТА «АЛМАЗ – КАРБИД ВОЛЬФРАМА» НА ПРОЦЕСС ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

Одним из перспективных способов получения мелкозернистых поликристаллов является спекание алмазных нанопорошков с введением в них добавок, которые при спекании образуют химические соединения с углеродом и, таким образом, связывают алмазные частицы. В ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины впервые была установлена принципиальная возможность реакционного спекания в условиях высоких давления и температуры нанопорошков алмаза и вольфрама [1]. В результате взаимодействия между ними в процессе спекания в порах между алмазными наночастицами образуются наночастицы карбида вольфрама, химически связанные с алмазными, что усиливает связь между зернами полученного композита.

Однако применение мелкозернистых ПСТМ само по себе не может обеспечить остроту кромки резца и низкую шероховатость обработки, т.к. важную роль в процессе получения острого лезвия инструмента играют заточка и доводка режущих кромок. В данной работе поставлена цель – изучить влияние шероховатости передней поверхности режущих пластин из нанокомпозита «алмаз – карбид вольфрама» на силы резания, вибрации и качество обработки при чистовом точении алюминиевых сплавов.

Работоспособность резцов из нанокомпозита алмаз – карбид вольфрама изучали на автоматизированном стенде на базе токарного станка с ЧПУ мод. ТПК 125ВМ [2]. Экспериментальные исследования выполняли при чистовом точении образцов (диаметром d = 60–70 мм) из алюминиевого сплава АК6. Режущие пластины из композита «алмаз – карбид вольфрама» с содержанием вольфрама 30 % были обработаны по двум различными технологиями – без доводки (шероховатость поверхности *Ra* 0,12–0,16) и с доводкой алмазными микропорошками (шероховатость поверхности *Ra* 0,05–0,08). Резец с механическим креплением круглой режущей пластины диаметром 7±0,025 мм имел геометрические параметры: передний угол $\gamma = 0°$; задний угол $\alpha = 10°$. Режущие пластины были исследованы при подаче S = 0,1 мм/об, глубине резания t = 0,1 мм и скоростях резания v = 1,0; 2,0; 3,0; 3,9; 4,9; 5,9 м/с.

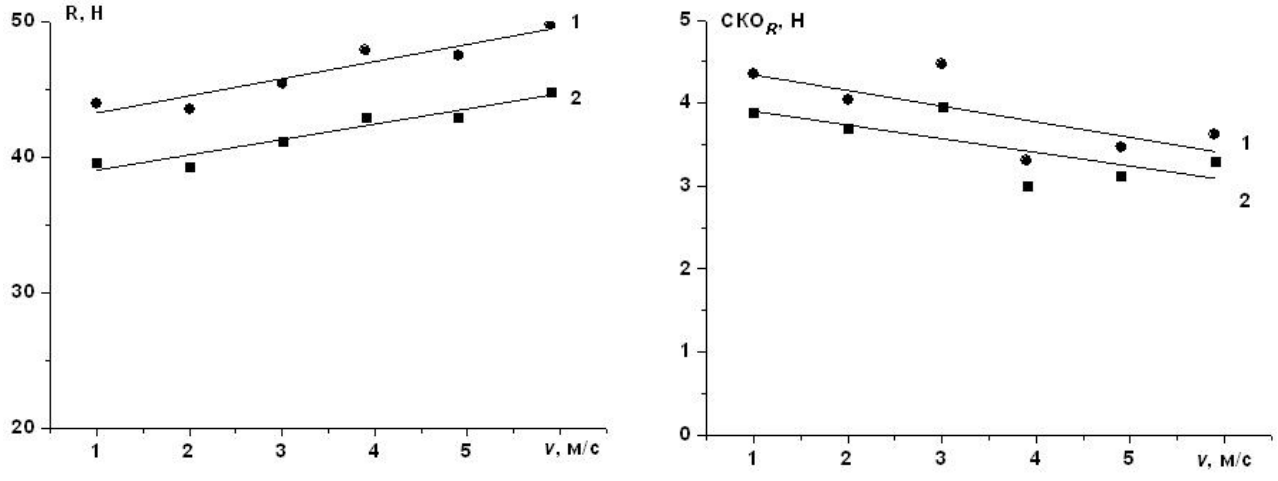
Составляющие силы резания P_x, P_y, P_z измеряли с помощью динамометра УДМ 100. Акселерометр (датчик KD-35 немецкой фирмы MMF) использовался для преобразования механических колебаний резца в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося инструмента. Датчик закреплялся в нижней части резца в направлении составляющей силы P_z, максимально приближено к зоне резания. Его рабочий диапазон частот 10–10000 Гц. Сигналы от динамометра и акселерометра через усилитель поступали на АЦП ADA-1406. Управление АЦП ADA-1406 осуществлялось программой Power Graph [3]. Частота опроса АЦП составляла 50 кГц.

Для исследования шероховатости и волнистости обработанной поверхности применяли аналоговый прибор Surtronic 3 фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания), соединенный с компьютером. Путем специально написанной программы на основании записанных профилограмм обработанных поверхностей разделяли шероховатость и волнистость, а также рассчитывали их количественные параметры.

Проведенные эксперименты показали, что доводка режущих пластин до шероховатости *Ra* 0,05–0,08 привела к снижению составляющих P_y, P_z и равнодействующей сил резания R в 1,1 раза (рис. 1, *а*). Изменение составляющей P_x находилось в пределах погрешности измерений. Однако среднеквадратическое отклонение (СКО) составляющих и равнодействующей силы резания для всех режимов обработки уменьшились в 1,2–1,3 раза (рис. 1,б).

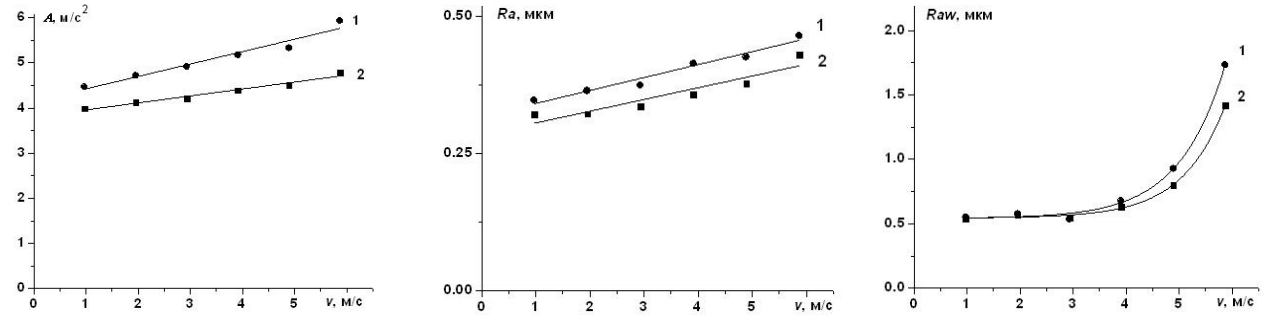
Амплитуда вибраций уменьшилась на 12–24% (рис. 2, *а*). При этом параметр шероховатости *Ra* обработанной поверхности умень-

шился на 8–16% (рис 2, *б*), а волнистость до 20% (рис 2, *в*). Максимальный рост волнистости наблюдали при скорости резания > 4 м/с.



а *б*

Рисунок 1 – Влияние скорости резания на равнодействующую силу резания *R* (*а*) и ее СКО$_R$ (*б*) при точении исходной (*1*) и доведенной (*2*) режущими пластинами



а *б* *в*

Рисунок 2 – Влияние скорости резания на амплитуду вибраций *A* (*а*), шероховатость *Ra* (*б*) и волнистость *Raw* (*в*) при точении исходной (*1*) и доведенной (*2*) режущими пластинами

Таким образом, доводка режущих пластин из нанокомпозита «алмаз–карбид вольфрама» до шероховатости *Ra* 0,05–0,08 при чистовом точении сплавов алюминия приводит к уменьшению сил резания до 20%, вибраций до 24%, шероховатости до 16%, волнистости до 20%.

Литература

1. Патент на винахід №93803Україна, М. кл.^{6} МПК, B24D 3/02, B22F 3/14. Спосіб отримання алмазного композиційного матеріалу / М.В. Новіков, О.О. Бочечка, С.М. Назарчук та ін. – Опубл. 10.03.11. Бюл. № 5.

2. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. – К.: Наук. думка. 1992. – 131 с.

3. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД) – 2008. – №3. – С. 24–26.

Добровольська Л.Н., Куць Н., Собчук Д. Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ СТАРТУ МАКРОТРІЩИНИ ЗА ЯКІСНОЮ ЗМІНОЮ

Для експериментального визначення характеристик тріщиностійкості потрібно вибрати раціональну форму та розміри зразка, створити штучну втомну тріщину, забезпечити необхідну точність реєстрації навантаження та інших величин для побудови діаграми руйнування. Після цього зразок із заздалегідь виведеною втомною тріщиною руйнують і записують необхідну інформацію.

Оскільки деякі характеристики, що визначають із експерименту і описують тріщиностійкість металевих сплавів, залежать від форми та розмірів зразка, то для зіставлення отриманих результатів із аналогічними літературними даними, такі дослідження повинні проводитися в рамках єдиної уніфікованої методики. Така методика регламентована і поєднує відповідні стандарти провідних країн світу. Тому розміри зразків, їх форму, розрахунки необхідних силових й інших показників тощо тут і далі приведені у відповідності із вимогами цього документа. Отже, штучну втомну тріщину створювали циклічним навантаженням. Для цього задавали значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{fmax}, виходячи із умови $K_{f\max} \leq 0{,}75\ K_{IC}$. Кінцевий відтинок тріщини, що становив 0,3 довжини всієї втомної тріщини, створюють за умови $K_{f\max} \leq 0{,}6\ K_{IC}$. Оскільки значення K_{IC} для досліджуваних зразків було невідомим, то правильність режимів виведення втомної тріщини коректували після руйнування першого дослідного зразка. Для цього також додатково користувались залежністю $\sigma_{CO} \leq 0{,}5\sigma_{02}$, де σ_{CO} – максимальне напруження на кінцевому етапі виведення втомної тріщини. Існує широка гама машин і випробувальних установок для виведен-

ня втомних тріщин у зразках конструкційних матеріалів. Проте на практиці у випадках, коли необхідно зароджувати втомні тріщини у зразках конструкційних матеріалів малої товщини (до 10 мм), застосування потужних і дорогих установок є економічно недоцільним. Тому часто вирішують цю проблему виготовленням власних розробок, адаптованих під конкретні розміри зразків випробуваних конструкційних матеріалів та умов проведення досліджень. Результати таких розробок знайшли своє застосування у низці виробничих та науково-технічних лабораторій, однак їх удосконалення під кожні конкретні задачі випробовувань і досі перебуває на стадії розвитку. Аналіз доломів зразків підтвердив гіпотезу про те, що методика визначення старту макротріщини за якісною зміною САЕ на акустограмі, відповідає істинному моментові старту макротріщини.

Враховуючи сказане, нами проведено аналіз САЕ у цей момент, а також на різних ділянках діаграми руйнування з метою встановлення їх кількісних показників, що далі будуть закладені для вибору режимів роботи створених апаратурних засобів.

Довгаль А.Г., Курбет Л.В., Данилейко О.В.
Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ УСТАНОВОК АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Основним агрегатом силової установки сучасної авіаційної наземної техніки є двигун внутрішнього згоряння. Найбільш навантаженим вузлом двигунів внутрішнього згоряння являється циліндро-во-поршнева група. Поршні двигунів виготовляються з високоміцних алюмінієвих ливарних сплавів, що втричі легше сталі, але водночас з цим постає питання локального підвищення зносостійкості цих сплавів, особливо в умовах високих температур. Зносостійкість поршнів прямо впливає не лише на ресурс, а і на компресію циліндра, а отже і паливну ефективність двигуна. Отже підвищення паливної ефективності та продовження ресурсу енергетичних установок авіаційної наземної техніки значно покращує працездатність обладнання та економічну ефективність експлуатації окремих видів авіаційної наземної техніки. Це можливо досягти за допомогою викори-

стання захисних покриттів. Важливим аспектом усіх технологічних заходів являється їх низька вартість, можливість застосування в умовах експлуатаційних підприємств та ефективність.

Поршні двигунів, працюють в дуже важких умовах. Температура вихлопних газів в бензинових двигунах може досягати 950–980 °С. Тиск в циліндрі в момент робочого ходу досягає 100 кг/см^2. Зокрема канавки компресійних кілець працюють в умовах середніх температур від 170 до 300 °С. Проте для ливарних алюмінієвих сплавів, такі температури вже близькі до поверхневої пластифікації (силумін Ал25 плавиться вже при температурі 510 °С), тому проблема першої компресійної канавки особливо актуальна для дизельних двигунів, де компресія визначає умови запалювання суміші.

В роботі [1] приведено матеріали фундаментальне дослідженнь застосування зміцнення алюмінієвих деталей авіаційної техніки електроіскровими покриттями та досліджена можливість застосування дискретних електроіскрових покриттів та їх вплив на зносостійкість. Автори статті [2] досліджували вирішення проблематики першої канавки шляхом застосування електропроменевої обробки та було запропоновано цей вид обробки для всього складу деталей двигуна. В результаті було розроблено ряд експериментальних установок, що може бути використаним для серійного виробництва.

Дослідник роботи [3] пропонує використовувати різноманітний розподіл кремнію в заготовці поршню саме під час відливання силуміну, що дозволить створити зони значно міцніші щодо термічних навантажень в ділянці майбутніх компресійних кілець, що працюватимуть в умовах підвищених температур. Це дуже цікавий підхід, але ускладнює процес виготовлення поршнів, та не має відповіді, що діяти, якщо відбудеться дифузійна гомогенізація складу в процесі експлуатації деталі.

Авторський колектив публікації [4] проводив фундаментальне дослідження застосування вставок в проблемні зони стосовно термічної міцності та зносостійкості. Вставки пропонувалося виготовляти з алюмінієвого сплаву зміцненого волокнами з оксидів алюмінію, кремнію та заліза в різній концентрації. Дослідники здобули суттєвих результатів високотемпературної зносостійкості порівняної з чавуном, з якого інколи виготовляються компресійні кільця.

Продовжуються дослідження із застосування термостійких вставок в першу канавку компресійного кільця. Зокрема в роботі [5] науковці вирішували відому проблему адгезії вставки до тіла порш-

ня. Зокрема було встановлено, що основною причиною адгезійного відшарування вставки є накопичення на межі пластівчастого графіту. Тому для уникнення відшарування пропонується модифікувати структуру силуміну в зоні вставки.

В роботі [6] визначено, що основною технологією зміцнення та відновлення поршневих канавок є електроіскрове легування, що є дуже ефективним та перспективним для алюмінієвих сплавів, так як не вчиняє суттєвої термічної дії на легкоплавкий метал (а температура плавлення деяких силумінів складає 510 °С, а суттєвої поверхневої пластифікації уже при 300 °С). та не створює суттєвої динамічної дії на підкладку.

В публікації [7], використовуючи аналітичні та емпіричні методи, автор визначив величини максимального зносу сполучення канавка-кільце, коли воно цілком виходить з ладу в 0,4 мм, порівняно з вихідним 0,08 мм та запропонував розрахунки довговічності сполучення від навантаження, температури та швидкості тертя, визначивши їх як основні фактори, що впливають на зносостійкість сполучення.

Отже з посеред усіх технологічних заходів вирішення проблеми першої канавки поршня ДВЗ важливо визначити такі заходи, що були б дешеві при збереженні ефективності, не вимагали складного та витратного обладнання та були доступні в умовах експлуатаційних підприємств в межах чергових профілактичних робіт по двигуну. В авіаційних підприємствах України наявна велика кількість застарілої авіаційної наземної техніки з двигунами радянського виробництва. Залишковий ресурс циліндрово-поршневої групи базових та автономних двигунів цієї авіаційної наземної техніки може бути продовжено некоштовними та неенергоємнинами заходами, зокрема застосуванням електроікрового легування, як монометалічними так і композиційними матеріалами з метою утворення захисних зносостійких шарів та відновлення геометрії поверхонь.

Література

1. Довгаль А. Г., Бурдюженко Л. В., Ткаченко І. В. Зносостійкі електроіскрові покриття для підвищення довговічності кінематичних сполучень авіаційної техніки. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Серія Г. Зб. наук. праць. – К.: ІНМ ім., В.М. Бакуля НАН України, 2003. – С. 313–320.

2. Проблемы и перспективыиспользования электроннолучевых технологий в дизелестроении / М.В. Радченко, В.Г. Радченко, Ю.О. Шевцов, К.С. Кровяков // Ползуновский вестник. – 2006. – №4. – С. 325–329.

3. Jonathan A. Lee Cast Aluminium Alloy for High Temperature Application // The Minerals, Metals & Materials Society. – 2003. – P. 245–247.

4. Wu Shenqing, Li Jun Application of ceramic short fiber reinforced Al alloy matrix composite on piston for internal combustion engines // China foundry. – 2010. – Vol.7, №4. – P. 408–411.

5. Ahu Fahriye Acar, Fahrettin Ozturk, Mustafa Bayrak Effects of variations in alloy content and machining parameters on the strength of the intermetallic bonding between diesel piston and ring carrier // Mat. and techn. – 2010. – № 44. – P. 391–395.

6. Дударева Н.Ю. Упрочнение верхних поршневых канавок двигателей внутреннего сгорания методом искрового упрочнения // Вестник УГАТУ. – 2010. – т. 14, №3 (38). – С. 111–115.

7. Гасангусенов О.Г. Расчетно-экспериментальное исследование влияния температуры, нагрузки и скорости скольжения на долговечность сопряжения канавка-поршневое кольцо малоразмерного дизеля // Вестник АГТУ.Сер.: Морская техника и технология. – 2013. – №1. – С. 111–116.

Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Бояринова В.Г.
Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Методы, применяемые для очистки производственных и бытовых сточных вод, можно разделить на три группы: механические; физико-химические, биологические. В комплекс очистных сооружений, как правило, входят сооружения механической очистки. В зависимости от требуемой степени очистки они могут дополняться сооружениями биологической либо физико-химической очистки, а при более высоких требованиях в состав очистных сооружений включаются сооружения глубокой очистки [1, 2].

Перед сбросом в водоем очищенные сточные воды обеззараживаются, образующийся на всех стадиях очистки осадок или избы-

точная биомасса поступает на сооружения по обработке осадка. Очищенные сточные воды могут направляться в оборотные системы водообеспечения промышленных предприятий, на сельскохозяйственные нужды или сбрасываться в водоем. Обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться. Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей.

Как правило, она является методом предварительной очистки и предназначена для подготовки сточных вод к биологическим или физико-химическим методам очистки. В результате механической очистки обеспечивается снижение взвешенных веществ до 90%, а органических веществ до 20%. В состав сооружений механической очистки входят решетки, различного вида уловители, отстойники, фильтры. Песколовки применяются для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей (в основном песка). Обезвоженный песок при надежном обеззараживании может быть использован при производстве дорожных работ и изготовлении строительных материалов.

Усреднители применяются для регулирования состава и расхода сточных вод. Усреднение достигается либо дифференцированием потока поступающей сточной воды, либо интенсивным перемешиванием отдельных стоков. Первичные отстойники применяются для выделения из сточных вод взвешенных веществ, которые под действием гравитационных сил оседают на дно отстойника, или всплывают на его поверхность.

Для очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, при концентрациях более 100 мг/л применяют нефтеловушки. Эти сооружения представляют собой прямоугольные резервуары, в которых происходит разделение нефти и воды за счет разности их плотностей. Нефть и нефтепродукты всплывают на поверхность, собираются и удаляются из нефтеловушки на утилизацию Биологическая очистка - широко применяемый на практике метод обработки бытовых и производственных сточных вод. В его основе лежит процесс биологического окисления органических соединений, содержащихся в сточных водах. Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов, включающим множество различных бактерий, простейших и ряд более высокоорганизованных организмов-водорослей, грибов и т.д., связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями (метабиоза, симбиоза и антагонизма).

Химические и физико-химические методы очистки играют значительную роль при обработке производственных сточных вод. Они применяются как самостоятельные, так и в сочетании с механическими и биологическими методами. Нейтрализация применяется для обработки производственных сточных вод многих отраслей промышленности, содержащих щелочи и кислоты. Нейтрализация сточных вод осуществляется с целью предупреждения коррозии материалов водоотводящих сетей и очистных сооружений, нарушения биохимических процессов биологических окислителях и водоемах.

Рассмотрим очистные сооружения Багдадского районного медицинского объединения.

Багдадское районное медобъединение, отдел здравоохранения Багдадского Райкохимията, Фергоблздрав, Министерства Здравоохранения РУз. Водозабор осуществляется 2-мя существующими артскважинами и водопроводной сети водоканала. Сброс стоков в очистные сооружения (рис. 1).

Сточные воды попадают в самотечную сеть канализации из сборного железобетона, труб диаметром 150 мм, сбрасываются в очистные сооружения и в водок.

На скважине для обеспечения водой установлена емкость, так называемая водонапорная башня на 25 тонн в количестве 1 штук. Скважина, используемая для хозпитьевых и производственных целей, имеет: глубину 260 м, производительность 10 л/сек (10 м^3/час).

Нормативно – расчетное водопотребление составляет: по нуждам: 111,2703 м^3/сут или 39,3476 тыс.м^3/г, производственные расходы: 51,8188 м^3/сут или 11,7933 тыс.м^3/г., общие расходы воды составляют 163,0891 м^3/сут. или 51,1409 тыс.м^3/г.

Учет забираемых вод производится при помощи водомеров диаметром 100 мм, установленных на скважинах. Контроль за качеством питьевой воды осуществляет Богдаская и Риштанская райСЭСы. Контроль за качеством сточных вод осуществляется районным или областным Унитарным пред-

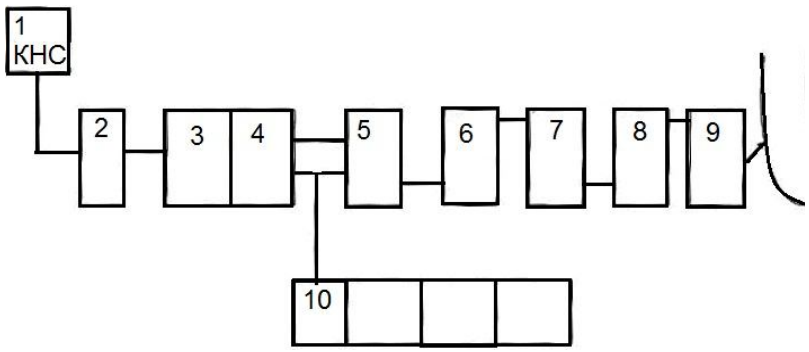


Рисунок 1 – Схема очистных устройств (производительность 400 м^3/сут): 1 – КНС; 2 – песколовка; 3 – аэротенка; 4 – аэрлиф; 5–8 – биопруды; 9 – контактный резервуар (хлораторная); 10 – иловая площадка

приятием «Сувакава». СИАК осуществляет ведомственный контроль за состоянием сточных вод.

Вода в системах оборотного водоснабжения расходуется на охлаждение кондиционеров и компрессоров. Общий объем воды в системах оборотного водоснабжения составляет 3000 м^3/сут., (450 тыс.м^3/г) и согласован с заказчиком.

Фактическое водопотребление: 163,0891 т.м^3/год; (51,140 м^3/сут) в том числе:

- на хозяйственно-питьевые нужды: 111,2703 т.м^3/год; (39,3476 м^3/сут)
- фактически: 111,2703 т.м^3/год; (39,3476 м^3/сут)

Производственные нужды: 51,8188 т.м^3/год (11,7933 м^3/сут)

Фактически: 51,8188 т.м^3/год (11,7933 м^3/сут) в том числе:

Подземных вод: 163,0891 т.м^3/год; (51,1409 м^3/сут)

фактически: 163,0891 т.м^3/год; (51,1409 м^3/сут)

Водоотведение. Сброс хозбытовых сточных вод производится в очистные устройства (см. рис. 1).

Нормативно-расчетный объем водоотведения в очистные устройства – 27,6385 т.м^3/год (75,7108 м^3/сут).

Утвержденный расход сбросных вод (общий объем сточных вод) составит: 75,7108 м^3/сут., 27,6385 тыс.м^3/г (табл. 1).

Таблица 1 – Состав сточных вод

Показатели состава сточных вод	Фактическая концентрация, мг/л	Фактический сброс, г/час	Допустимая концентрация, г/час	Утвержденный КЭН, г/час
ХПК	–	–	–	–
Азот аммонийный	–	–	–	–
Азот нитридный	–	–	–	–
Азот нитратный	–	–	–	–
Нефтепродукты	–	–	–	–
Сухой остаток	929	2931	929	2931
Взвешенные в-ва	–	–	–	–
Хлориды	20	63,1	20	63,1
Сульфаты	359,65	1134,7	359,65	1134,7
Фосфаты	–	–	–	–
Щелочность	–	–	–	–
Кальций	–	–	–	–
Медь	0,22	0,684	0,22	0,684
Железо	–	–	–	–
БПК	–	–	–	–

Утвержденное свойства сточных вод:

- запахи, привкусы – не более 5 баллов;
- реакция среды – 6,5–8,5;
- температура – 6–30 ^{o}C.

Сточные воды попадают в самотечную сеть канализации из сборного железобетона, труб диаметром 150 мм, сбрасываются в канализационный коллектор и в очистные устройства (см. рис. 1).

Литература

1. Справочник эколога–эксперта / Н.В. Королева, И.Г. Фахрутдинов, К.В. Ананьева и др. – Ташкент: Госкомприроды Республики Узбекистан, 1997. – 435 с.

2. Хабиров Р.С., Королева Н.В., Ишмухамедов Т.Р. Справочник эколога–эксперта. – Ташкент: Госкомприрода, Госэкоэкспертиза, ООО Кони-Нур», 2009. – 528 с.

Домуладжанова Ш.И., Домуладжанов И.Х., Содикова Ш.Ш.
Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ – ВЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

На протяжении всего периода существования человека повышение безопасности как одного человека, так и общества в целом всегда было одним из ведущих мотивов деятельности людей.

По мере развития цивилизации влияние различных факторов, угрожавших существованию человеческих сообществ, приводило к качественным изменениям, в результате которых возрастала защищенность, как самого человека, так и племени, рода, социума.

Развитие техники и промышленности потребовало от человечества создания и закрепления положений, в которых были бы сформулированы основные требования по использованию различных орудий производства и технических систем. Эти положения способствовали выработке определенных требований безопасности к техническим системам и средствам производства, совокупное действие которых исключало риск не только для людей, имеющих с ними дело, но и общества.

На всем протяжении развития цивилизации новые виды человеческой деятельности, уберегая человека от недостатка энергии, помогая поднимать урожайность и сохранять собранную продукцию, одновременно несли и новые опасности.

Воздействие антропогенных опасностей при их значительных параметрах нарушают нормальную жизнедеятельность людей, вызывают аварии, приводящие к чрезвычайным ситуациям (ЧС) и катастрофам, в том числе и экологическим [1, 2].

Т.о., к природным катастрофам постоянно добавляются антропогенные катастрофы, ущерб от которых сравним, а то и превосходи катастрофы природные, вызываемые стихийными бедствиями.

Природные катастрофы имеют разную степень отрицательного воздействия факторов на различные регионы, страны и социальные группы. По мнению специалистов из университета Кларка (штат Массачусетс, США), стихийные бедствия обусловливают от 10 до 25% всех преждевременных смертей в развивающихся странах. В развитых странах этот показатель составляет от 3 до 5%, что в 4,5 раза меньше.

В абсолютных величинах, согласно оценкам специалистов шведского Красного Креста, в развивающихся странах число жертв стихийных бедствий выше почти вдвое, чем в развитых, а в наименее развитых государствах – в шесть раз. В некоторых случаях разрыв значительно больше.

В целом экономический однотипный урон от экологической катастрофы в развивающихся странах оценивается в 20...30 раз больше, чем в странах – членах Организации экономического сотрудничества и развития.

Можно считать достаточно обоснованным тезис о наличии весьма тревожной тенденции нарастания губительного воздействия опасных природных явлений и процессов. При всей специфике ситуаций в конкретных странах и регионах они обусловлены действием двух общих причин.

Одна из этих причин напрямую связана с демографическими факторами и ускоренной урбанизацией – ростом народонаселения и концентрацией его и материальных богатств на сравнительно ограниченных территориях.

Другая причина заключается в изменении характера генезиса (происхождения) природных катастроф. В последнее время эти катастрофы вызывают не только океанические, геологические и иные естественные силы, но и хозяйственная деятельность человека, ко-

торая увеличивает их число и усугубляет пагубное воздействие, как на природу, так и на самого человека. В качестве примера отрицательного воздействия на сферу экономики государства можно констатировать, что происходят аварии раз в неделю – на транспорте, ежемесячно – в промышленности. Опасность усугубляется еще и тем, что в Центральной Азии существует Аралская катастрофа (высыхание Арала).

Вторгаясь в природу, законы которой далеко еще не познаны, и создавая все более мощные инженерные комплексы, человечество формирует новую, чрезвычайно сложную систему, включающую техносферу, закономерности развития которой пока неизвестны.

Это, в свою очередь, приводит к увеличению неопределенности информации о функционировании техносферы, антропийности протекающих в ней процессов, риске возникновения технологических катастроф – крупномасштабных аварий в промышленности, энергетике, на транспорте, загрязнения биосферы высокотоксичными и радиоактивными отходами производства, угрожающего здоровью миллионов людей.

Предотвратить такие аварии и катастрофы, обезопасить человека, уменьшить материальный, экономический, социальный и политический ущерб в среде обитания и призвана наука Безопасность жизнедеятельности (БЖД). Однако решение вопросов Безопасности жизнедеятельности невозможно без разбора и знания терминологии, которая должна быть единой для всей области знаний Безопасности жизнедеятельности и различных научных направлений, входящих в структуру этих знаний.

Безопасность жизнедеятельности может быть достигнута за счет решения следующих взаимосвязанных задач:

- идентификация явных потенциальных опасностей;
- изучение предупредительных (профилактических) мер защиты от действующих факторов;
- выявление нерегламентированных признаков опасности на основе теории риска;
- выбора методов борьбы с реальными опасностями;
- своевременной ликвидация последствий в результате аварий, катастроф или ЧС.

Все это можно решить на основе единой системы Безопасности жизнедеятельности. Эта система состоит из взаимосвязанных между собой блоков, объединенных единой целью и правовым полем:

- охраны окружающей среды (ООС);
- экологической безопасности;
- охраны труда (ОТ);
- защиты населения при чрезвычайных ситуациях (ЧС) и ликвидации последствий природных катастроф.

В курсе Безопасность жизнедеятельности приобретают важность такие аспекты, как: правовой (юридический), мировоззренческий, экологический, воспитательный, социальный, медицинский, физиологический, психологический, эргономический, технический, организационно-оперативный, экономический.

Перечисленные аспекты лежат в основе рассмотрения основных направлений безопасности жизнедеятельности.

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.

2. Попспирова Н.М., Домуладжанов И.Х. Безопасность в процессе производственной деятельности: уч. пособие. – Фергана: Техника, 2003. – 205 с.

Зяхор И.В., Кучук-Яценко С.И., Завертанный М.С., Чорнобай С.В. Институт электросварки ъим. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА ЧЕРЕЗ ПРОСЛОЙКИ ИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ФОЛЬГ С НЕОДНОРОДНОЙ ПО ТОЛЩИНЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ

Одним из технологическим приемов при неразъемном соединении трудносвариваемых материалов является использование промежуточных прослоек в виде многослойных наноструктурных фольг (НФ). Такие фольги используют в качестве активаторов процесса твердофазных соединений жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов.

Интерметаллидные спавы на основе алюминидов титана являются перспективными материалами для изготовления деталей авиационных и автомобильных двигателей. Одной из причин, которая ограничивает использование алюминидов титана, является сложность их сварки, обусловленная низкой пластичностью и высокой чувствительностью к образованию трещин. Разработка эффективных технологий сварки алюминидов титана является актуальной проблемой современного авиастроения.

Соединения алюминидов титана, выполненные методами сварки плавлением (дуговой неплавящимся электродом и электроннолучевой), склонны к растрескиванию, развивающемуся по линии сплавления или околошовной зоне. Для снижения вероятности образования в соединениях трещин необходим предварительный подогрев свариваемой конструкции до высоких температур.

Значительная часть исследований по соединению алюминидов титана посвящена способам сварки давлением – диффузионной сварки в вакууме (ДСВ), контактной стыковой сопротивлением (КСС), сварки трением (СТ). Однако при использовании канонических технологий сварки давлением также возникают проблемы по обеспечению бездефектности соединений, предотвращению возникновения трещин.

Высокая чувствительность к термодеформационному циклу сварки алюминидов титана стимулирует технологов к поиску путей интенсификации процесса локальной пластической деформации в зоне контакта, повышения пластичности металла в зоне соединения, снижения возникающих при сварке напряжений. Основными технологическими приемами при способах сварки давлением являются оптимизация параметров термодеформационного воздействия и использование промежуточных прослоек из различных материалов, в том числе, в наноструктурном состоянии. В этом случае отработка технологии сварки предусматривает оптимизацию состава, структурного состояния и толщины прослойки.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона разработан метод электронно-лучевого осаждения многослойных НФ с неоднородной по толщине микроструктурой. Установлено, что неоднородная структура НФ влияет на последовательность фазовых превращений при их нагреве и характеристики микроструктуры, которые формируются при этом. Такие свойства НФ являются актуальными для использования при соединении различных трудносвариваемых материалов способами сварки давлением.

При ДСВ сплава γ-TiAl с никелевым сплавом ЭИ437Б в зоне соединения образуются микропоры, трещины и значительная химическая неоднородность. При ДСВ алюминида титана с использованием НФ системы Al/Ni-Cu с градиентной структурой дефекты сварки не наблюдаются, однако, в зоне соединения формируется переходная зона неоднородная по структуре и составу. ДСВ сплава γ-TiAl (Ti-48Al-2Cr-2Nb) с использованием НФ системы Ni-Al/Ni-Ni обеспечивает формирование бездефектных соединений. Наличие прослоек никеля с обеих сторон фольги системы Al/Ni предотвращает нежелательную диффузию легирующих элементов свариваемых сплавов, предупреждая образование интерметалидних фаз с высокой микротвердостью.

При СТ γ-сплава Ti-46Al-2Nb-2Cr с титановыми сплавами за счет оптимизации параметров термодеформационного воздействия обеспечивается формирование соединений с мелкозернистой динамически рекристаллизованной структурой. Использование НФ системы TiNb/Al при СТ разнородных соединений γ-сплава Ti-46Al-2Nb-2Cr и высокопрочного титанового сплава позволяет сократить энерговложение в стык, предотвратить механическое перемешивание сплавов, избежать образования трещин.

При КСС сплава Ti-47Al-1.5Cr-2Nb без использования промежуточных прослоек в широком диапазоне изменения технологических параметров наблюдались трещины в зоне соединения. Использование НФ позволило улучшить формирование соединений. Положительный эффект достигался благодаря более концентрированному выделению тепла в зоне контакта за счет протекания экзотермической реакции в НФ. При КСС с использованием НФ систем Ti/Co, Ti/Al обеспечивается формирование бездефектных соединений, при этом химическая неоднородность в виде продуктов трансформации фольги в стыке не обнаруживается. Полученные результаты показывают перспективность использования НФ в качестве активаторов процесса сварки давлением алюминидов титана. Для дальнейшего совершенствования технологии КСС представляет интерес исследование влияния исходной структуры свариваемого сплава, состава и толщины НФ на процессы нагрева, деформации и формирование соединений.

Дальнейшие исследования процессов сварки давлением с использованием НФ актуальны для различных сочетаний трудносвариваемых материалов на основе титана, никеля, интерметаллидных сплавов и высокопрочных сталей.

Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И.,
Колмаков А.Г. ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН,
Михеев Р.С. МГТУ имени Н.Э.Баумана, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь
Клименко С.А., Копейкина М.Ю. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ НА СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ

Сплавы на основе олова и свинца (баббиты), медные сплавы (бронзы и латуни), а также цинковые и алюминиевые сплавы относятся к традиционно применяемым в узлах трения антифрикционным материалам. Среди них в технике, особенно в подшипниках скольжения энергетического и транспортного машиностроения, наиболее широко используют оловянные баббиты, в частности, сплав марки Б83 по ГОСТ 1320. Это обусловлено рядом факторов: высокая демпфирующую способность и степень прирабатываемости в динамических условиях работы при сохранении минимального значения коэффициента трения и незначительный износ сопряженной детали. Однако, малая износостойкость в сочетании с низкой сопротивляемостью усталостному разрушению, вызванной неблагоприятной остроугольной геометрической формой интерметаллидных фаз системы Sn-Sb, вершины и ребра в которых играют роль концентраторов напряжений, являются существенными недостатками таких материалов, ограничивающими как их применение, так и эксплуатационные характеристики новых машин и механизмов [1].

Улучшить свойства баббитов можно за счет введения в их состав микронных и субмикронных керамических частиц, т.е. созданием на их основе дисперсно-упрочненных композиционных материалов (КМ). Наличие частиц микронного размера в составе баббита позволяет повысить его нагрузочную способность и износостойкость [2].

Рабочий антифрикционный слой из баббита на жесткой стальной опоре подшипника скольжения можно получать методами литья, обработки давлением, а также дуговой наплавки, газопламенного и плазменного напыления. Большее распространение получают технологии дуговой наплавки, позволяющие предотвратить ликвацию упрочняющей фазы за счет формирования покрытий необходимой толщины (т.е. практически исключить механическую обра-

ботку), характеризующихся высоким уровнем адгезионной связи с подложкой и дисперсностью структуры [3]. Кроме того, методы дуговой наплавки обладают потенциалом для промышленного внедрения, поскольку позволяют избежать затрат, связанных с использованием дорогостоящих заливочных машин и прессового оборудования. Наряду с нанесением рабочего слоя при изготовлении подшипника скольжения дуговая наплавка может применяться и для осуществления текущего ремонта подшипников, регламентированного уровнем износа антифрикционного покрытия.

Антифрикционные покрытия методом дуговой наплавки получали на поверхности массивной подложки (толщина 8 мм) из стали марки Ст3сп (ГОСТ 380). В качестве присадочного материала применяли наплавочные прутки на основе баббита марки Б83 (10–12 мас.% Sb, 5,5–6,5 мас.% Cu, Sn -– остальное, ГОСТ 1320), изготовленные методом экструзии. Наплавочные прутки имели диаметр 3 мм и длину 350–400 мм, что соответствовало ГОСТ 21449. Для армирования в состав прутков вводили 5 масс.% частиц карбида кремния со средним размером 40 мкм. Количество наполнителя выбирали по результатам ранее проведенных исследований, показавших нарушения сплошности образцов при большем количестве армирующих частиц.

Дуговую наплавку производили на переменном токе неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона на режиме: сварочный ток – I = (160–170) А, напряжение на дуге – $U_д$ = (16–18) В, скорость наплавки – $V_н$ = 4,2 м/ч, расход защитного газа (аргона) – (12–14) л/мин.

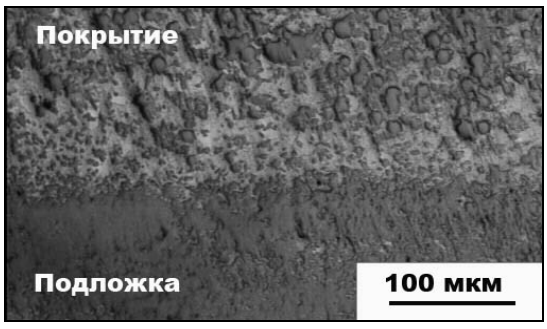


Рисунок 1 – Микроструктура наплавленных композиционных слоев

Наплавленные валики характеризуются гладкой поверхностью с плавным переходом к металлу подложки. Отсутствие пористости в наплавленных покрытиях даже при максимальной доле наполнителя в присадочном прутке свидетельствует о правильном выборе технологических параметров дуговой наплавки. При изучении средствами оптической микроскопии определено, что линия сплавления наплавленных слоев с подложкой является непрерывной и не содержит несплошностей (рис. 1).

Измерения твердости по Бринеллю наплавленных слоев проводили на универсальном приборе Wilson Wolpert 930 N вдавливани-

ем шарика диаметром 2,5 мм при нагрузке 620 Н. Твердость наплавленного композиционного покрытия отличается от покрытия на основе баббита Б83: она увеличивается в 1,8 раза (табл. 1).

Таблица 1 – Твердость наплавленных покрытий

N обр.	Состав наплавочного прутка	Твердость покрытия, НВ
1	Б83	25,3
2	Б83 + 5 масс.% SiC	45,8

Трибологические испытания полученных покрытий из КМ проводили в условиях сухого трения скольжения на установке CETR UMT Multi-Specimen Test System по схеме: неподвижная втулка (контртело) против вращающейся шайбы при удельных нагрузках от 0,2 до 0,7 МПа и скорости скольжения 0,39 м/с. Размеры втулки из стали 45 по ГОСТ 1050 (HRC>63): внутренний диаметр 12 мм, наружный диаметр 16 мм. Испытываемый образец в виде шайбы представлял собой стальную основу толщиной 8 мм с нанесенным на ее поверхность композиционным слоем толщиной 2-3 мм. Испытания каждого образца проводили при последовательном ступенчатом осевом нагружении до значений 18, 28, 39, 50, 60 Н (общий путь трения – 1110 м). Время испытаний при каждой осевой нагрузке составляло 10 мин. Выбранные параметры трибологических испытаний (осевая нагрузка, скорость скольжения) находятся в диапазоне реальных параметров трибонагружения конструкций из КМ, что позволяет сопоставлять и проводить сравнение полученных значений триботехнических характеристик с таковыми, указанными в других работах.

Поведение образцов при сухом трении скольжении оценивали по коэффициенту трения и величине интенсивности изнашивания.

Применение наплавочных композиционных прутков на основе сплава Б83 армированные частицами карбида кремния микронных размеров позволяют уменьшить значение интенсивности изнашивания наплавленных покрытий на величину до 30%. Значения коэффициентов трения на начальном этапе испытаний покрытия из баббита, армированного частицами SiC, в 1,3 раза выше, чем для покрытия из чистого сплава Б83. С увеличением нагрузки коэффициент трения снижается, и при нагрузках 50-60Н наплавленное композиционное покрытие имеет меньшие значения коэффициента трения, чем покрытие, не армированное частицами SiC. Это можно объяснить влиянием переходного слоя, состоящего из материалов

испытываемого образца и контртела, присутствующего и удерживаемого на контактирующих поверхностях в процессе трения выступами высокопрочных керамических частиц.

Выводы.

1. Методом дуговой наплавки на стальную подложку получены антифрикционные покрытия из композиционных прутков на основе баббита Б83. Композиционные прутки, диаметром 3 мм, содержащие армирующие частицы SiC получены методом экструзии.

2. Композиционные покрытия, армированные высокопрочными частицами карбида кремния, характеризуются увеличением износостойкости на 30% и уменьшением коэффициента трения при повышенных нагрузках на 20%.

Литература

1. Потехин Б.А., Илюшин В.В., Христолюбов А.С. Особые свойства баббита Б83, полученного турбулентным способом литья // Литье и металлургия. – 2010. – № 3. – С.78–81.

2. Трибологические свойства композиционных материалов на основе баббита Б83, полученных методом порошковой металлургии / И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, П.А. Быков и др. // Металлы. – 2016. – С. 101–107.

3. Гвоздев П.П., Коберник Н.В., Михеев Р.С. Влияние углеродных нанотрубок на структуру и свойства антифрикционных покрытий // Сварка и диагностика. – 2013. – №6. – С. 36–39.

Калентьев Е.А., Тарасов В.В. Институт механики УрО РАН, Ижевск, Россия

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КАНАТАХ

Эксплуатация большинства стальных канатов связана с многократным изгибом на блоках, шкивах, барабанах и других устройствах. Очевиден тот факт, что определение изгибных напряжений является важной задачей при расчете и проектировании стальных канатов. История теории изгибных напряжений восходит к формуле Рело (1861 г.).

$$\sigma_{из} = E\frac{\delta}{D},$$

где E − модуль Юнга, δ − диаметр проволоки каната, D − диаметр блока. В дальнейшем для учета формы свитых проволок в канате был добавлен коэффициент k, и формула приобрела вид:

$$\sigma_{из} = E\frac{\delta}{D}k.$$

Наиболее полным и обоснованным является решение М.Ф. Глушко [1], в котором поправочный коэффициент k, для спиральных канатов и прядей, имеет вид:

$k(\varphi) = R\sqrt{\tilde{b}^2 + \tilde{n}^2}$, где $\tilde{b} = \frac{\cos(2\alpha)}{R}\cos^2(\alpha)\cos(\varphi)$, $\tilde{n} = -\frac{1+\sin^2(\alpha)}{R}\cos(\alpha)\sin(\varphi)$

здесь R – радиус изгиба оси каната; φ – угол, определяющий положение проволоки в поперечном сечении каната.

Общим недостатком приведенных методов является предположение об отсутствии трения между проволоками и как следствие, возможность проволок свободно перемещаться относительно друг друга, что не соответствует реальным процессам в канате. Поэтому целесообразно использовать численные методы для решения данной задачи.

Для решения поставленной задачи используется метод конечных элементов (МКЭ) реализованный в открытом и свободном программном пакете, предназначенном для решения линейных и нелинейных трехмерных задач механики деформируемого твердого тела, распространяемый под лицензией GNU General Public License.

Объектом исследования примем спиральный канат простой конструкции 1×6 огибающий плоский цилиндрический блок. Общее количество проволок в пряди – 7 шт; шаг свивки проволок – 6,33 мм; диаметр каната – 0,6 мм; длина пряди каната l = 100 мм; модуль упругости материала проволок и блока E = 2•105 МПа; коэффициент Пуассона ν = 0,3; коэффициент трения материала проволок μ = 0,2, диаметр блока 500 мм (для удобства используется сегмент блока). Первоначально канат находится в не нагруженном состоянии, его ось прямая. Затем торцы каната перемещаются в направлении блока на расстояние необходимое для полного огибания канатом блока. Задача определения изгибных напряжений каната решается как задача контактного взаимодействия с учетом трения геометрически нелинейных проволок, находящихся в пространственном напряженном состоянии.

Рассмотрим некоторые результаты проведенного численного анализа, на рис/ 1 показано поле изгибных напряжений в поперечном сечении изогнутого каната.

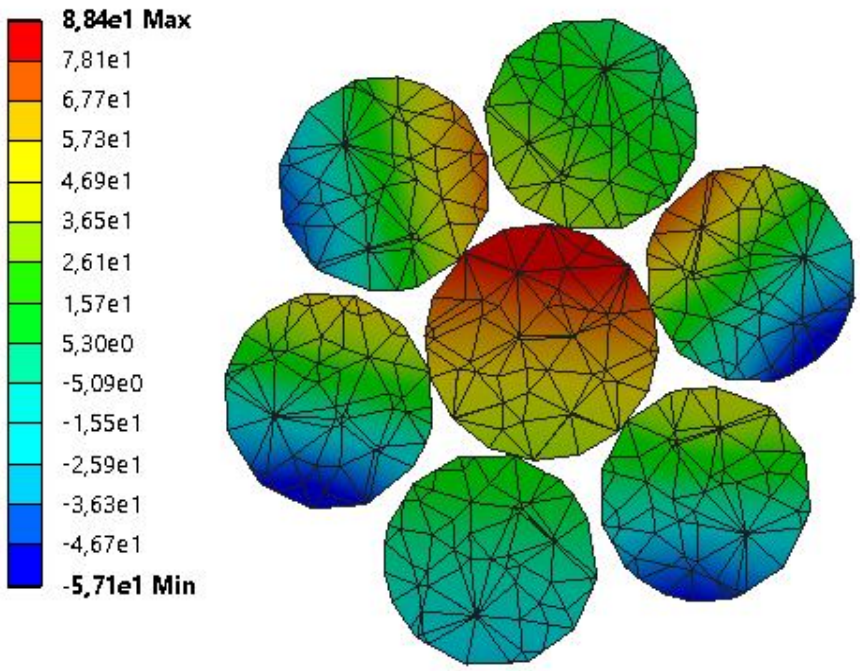


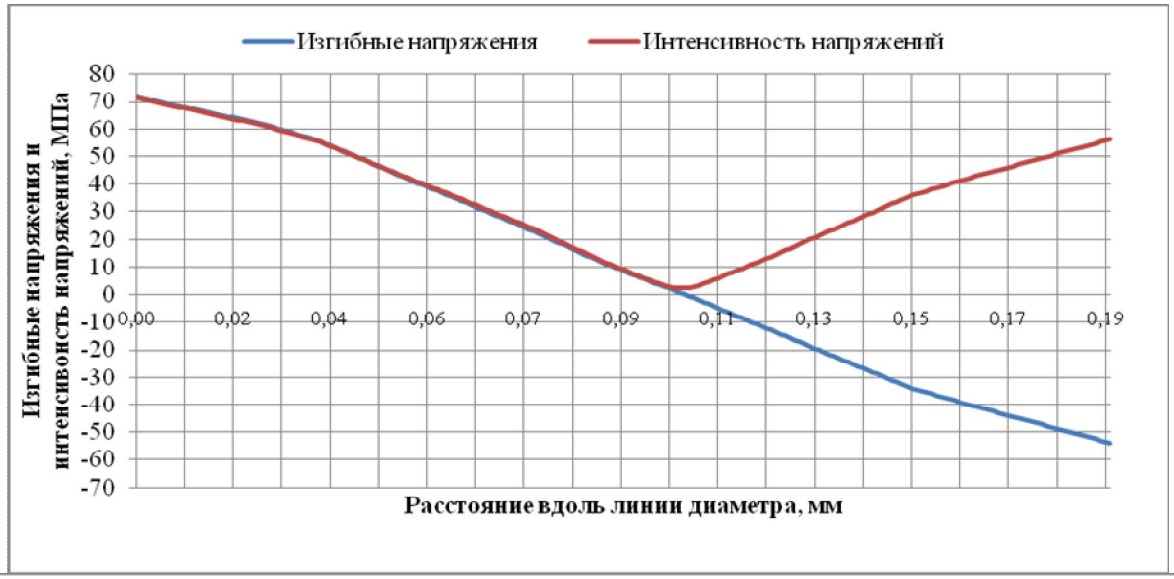
Рисунок 1 –Изгибные напряжение в поперечном сечении каната, МПа

Использование систем конечно-элементного анализа дает широкие возможности по представлению результатов в наглядной и удобной форме, так на рис. 2 приведены графики изменения внутренних силовых факторов вдоль линии диаметра проволоки наружного слоя, от максимума к минимуму изгибных напряжений.

В табл. 1 сведены основные результаты расчета изгибных напряжений в канате, для сравнения с численным анализом используется методы М.Ф. Глушко и Eugen Czitary.

Разница в определении максимальных напряжений составляет 5% и 7% для центральной проволоки и проволоки наружного слоя соответственно, при этом существенно отличаются (20%) минимальные изгибные напряжения.

Полученные результаты в целом хорошо согласуются с данными других авторов. Работа сил трения, возникающая при деплanации поперечного сечения изогнутого каната, препятствует свободным микроперемещениям проволок относительно друг друга, что вызывает изменение максимальных изгибных напряжений на 7% и минимальных изгибных напряжений на 20% по сравнению с результатами М.Ф. Глушко и Eugen Czitary.



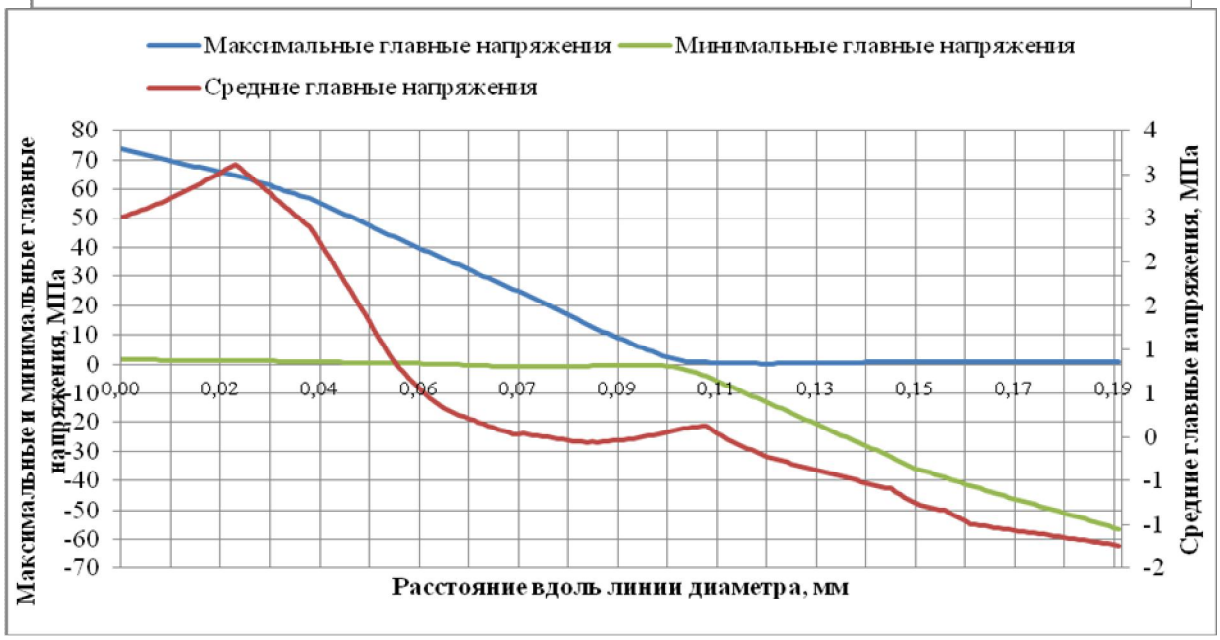


Рисунок 2 –Графики напряжений в проволоке наружного слоя, Мпа

Таблица 1 – Результаты расчета изгибных напряжений

Используемая методика	Максимальные изгибные напряжения в центральной проволоке, МПа	Максимальные изгибные напряжения в проволоке наружного слоя, МПа	Минимальные изгибные напряжения в проволоке наружного слоя, МПа
Метод М.Ф. Глушко	84,0	77,4	-67,5
Метод Eugen Czitary [2]	84,0	77,3	-73,0
Численный анализ МКЭ	88,4	71,7	-53,9

Приведенная в работе методика численного анализа напряженно-деформированного состояние позволяет исследовать поведение при его работе на блоке, определять изгибные напряжения, может использоваться как вспомогательный инструмент в технических приложениях.

Литература

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – К.:, Техніка, 1966. – 327с.

2. Eugen Czitary: Seilschwebebahnen. – Wien, Springer-Verlag, 1951.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект №16-38-00250

Кленов О.С. Фирма “ДиМерус Инженеринг”,
Новиков Ф.В. Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ФИРМЫ ISCAR

Применение современных технологий механической обработки сборными режущими твердосплавными инструментами с износостойкими покрытиями фирмы Iscar позволяет до 10 раз повысить производительность обработки при одновременном уменьшении технологической себестоимости. Однако решить проблему обеспечения требуемого срока окупаемости приобретенного дорогостоящего зарубежного оборудования (металлорежущих станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр») весьма сложно. Поэтому необходимо провести анализ условий уменьшения технологической себестоимости обработки.

В работах [1, 2] теоретически установлено, что при продольном точении с увеличением производительности обработки Q технологическая себестоимость C (определяемая двумя статьями затрат: заработной платой рабочего и стоимостью режущих инструментов) изме-

няется по экстремальной зависимости, проходя точку минимума C_{min} (рис. 1). Установлено, что в точке минимума технологической себестоимости обработки затраты на заработную плату рабочего, в $(m_1 - 1)$ раз больше затрат на режущий инструмент (где $m_1 > 2$). Для оценки достоверности сделанного вывода в табл. 1 приведены суммарные затраты $З = З_{инстр} + З_{оборуд} + З_{з/п} + П_{расх}$ на обработку 1 детали (где $З_{инстр}$ – затраты на инструмент; $З_{оборуд}$ – затраты на оборудование; $З_{з/п}$ – затраты на заработную плату; $П_{расх}$ – прочие расходы), полученные при выполнении токарной операции отрезки (пруток из стали 45 диаметром D = 50 мм) традиционным инструментом – твердосплавным резцом (применяемым на предприятии) и сборным твердосплавным резцом с износостойким покрытием фирмы Iscar. Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания V = 62,8 м/мин; обороты шпинделя n = 400 об/мин; подача на оборот S_0 = 0,15 мм/об.; подача $S_{мин}$ = 60 мм/мин; глубина резания t = 5 мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 25 мм.

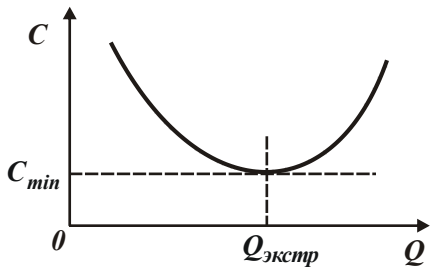


Рисунок 1 – Зависимость технологической себестоимости обработки *С* от производительности обработки *Q*

Режим резания инструментом фирмы Iscar: скорость резания V = 117,8 м/мин; обороты шпинделя n = 750 об/мин; подача на оборот S_0 = 0,15 мм/об.; подача $S_{мин}$ = 112,5 мм/мин; глубина резания t = 5 мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 25 мм.

Как следует из табл. 1, применение инструментов фирмы Iscar позволяет более чем в 2 раза уменьшить трудоемкость обработки T и суммарные затраты $З$. При этом отношение затрат на заработную плату и затрат на инструмент $З_{з/п} / З_{инстр}$ при обработке традиционными инструментами равно 2,65, а при обработке инструментами фирмы Iscar равно 13. Экспериментально установлено, что в точке минимума технологической себестоимости обработки это отношение, равное $(m_1 - 1)$, при обработке традиционными инструментами $(m_1 \approx 5)$ принимает значение 4, а при обработке инструментами фирмы Iscar $(m_1 \approx 3)$ – значение 2. Следовательно, для данных условий обработки традиционными инструментами и инструментами фирмы Iscar минимум технологиче-

ской себестоимости обработки C_{min} не достигается, т.к. реализуется левая ветвь зависимости $C - Q$ (см. рис. 1).

Таблица 1 – Суммарные затраты *З* на выполнение токарной операции отрезки

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов,%	
		предпр-е	Iscar	предпр-е	Iscar
Трудоемкость обработки T	час.	0,090	0,037		
Затраты на инструмент $З_{инстр}$	грн.	0,72	0,08	8,65	1,97
Затраты на оборудование $З_{оборуд}$		1,73	0,70	20,74	17,52
Затраты на заработную плату $З_{з/п}$		1,91	1,04	22,89	26,1
Прочие расходы $П_{расх}$		3,97	2,18	47,72	54,42
Суммарные затраты $З$		8,33	4,00	100	100
Экономия затрат на 1 деталь			4,33	или	51,94

В табл. 2 приведены суммарные затраты $З = З_{инстр} + З_{оборуд} + З_{з/п} + П_{расх}$ на обработку 1 детали, полученные при выполнении операции точения вала из стали 12Х18Н10Т диаметром D = 75 мм твердосплавным резцом (применяемым на предприятии) и сборным твердосплавным резцом с износостойким покрытием фирмы Iscar. Режим резания традиционным инструментом (предприятие): скорость резания V = 47,1 м/мин; обороты шпинделя n = 200 об/мин; подача на оборот S_0 = 0,2 мм/об.; подача $S_{мин}$ = 40 мм/мин; глубина резания t = 2 мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 180 мм.

Режим резания инструментом фирмы Iscar: скорость резания V = 146,0 м/мин; обороты шпинделя n = 620 об/мин; подача на оборот S_0 = 0,2 мм/об.; подача $S_{мин}$ = 124,0 мм/мин; глубина резания t = 2 мм; количество проходов – 1; суммарное линейное перемещение инструмента – 180 мм.

Т.е., применение инструментов фирмы Iscar позволяет уменьшить трудоемкость обработки T и суммарные затраты $З$ более чем в 2 раза. Отношение $З_{з/п}/З_{инстр}$ = 69,38 при обработке традиционными инструментами (предприятие) и $З_{з/п}/З_{инстр}$ = 8,63 при обработке инструментами фирмы Iscar. В этом случае применение инструментов фирмы Iscar приближает технологическую себестоимость обработки к минимальному значению C_{min}, что и предопределяет эффективность обработки.

Таблица 2 – Суммарные затраты *З* на выполнение операции точения вала

Статьи расходов (показатели) на 1 деталь	Ед. изм.	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2 (внедряемый)	Доля статей расходов,%	
		предпр-е	Iscar	предпр-е	Iscar
Трудоемкость обработки T	час.	0,158	0,058		
Затраты на инструмент $З_{инстр}$	грн.	0,49	0,19	3,57	2,94
Затраты на оборудование $З_{оборуд}$		3,03	1,10	21,89	17,34
Затраты на заработную плату $З_{з/п}$		3,34	1,64	24,16	25,8
Прочие расходы $П_{расх}$		6,97	3,42	50,38	53,88
Суммарные затраты $З$		13,83	6,34	100	100
Экономия затрат на 1 деталь			7,49	или	54,14

Если в точке минимума технологической себестоимости обработки C_{min} выполняется условие $Q < Q_{экстр}$ (рис. 1), то необходимо увеличивать производительность обработки за счет увеличения скорости резания или подачи путем применения режущих инструментов, характеризующихся меньшими значениями m_1, т.е. применением инструментов, обладающих большей износостойкостью в условиях повышенной температуры резания. Следовательно, основным условием уменьшения технологической себестоимости обработки до ее минимального значения является увеличение производительности обработки.

Полученные результаты показывают, что применение сборных твердосплавных инструментов с износостойкими покрытиями фирмы Iscar позволяет уменьшить трудоемкость обработки и суммарные затраты по сравнению с традиционно применяемыми отечественными лезвийными инструментами.

Литература

1. Теоретическое обоснование условий повышения эффективности высокоскоростной обработки / Ф.В. Новиков, О.С. Кленов // Вісник НТУ “ХПІ””: Зб. наук. праць. Серія: Технології в машинобудуванні. – Харьков: НТУ “ХПІ”. − 2014. − №42 (1085). – С. 106–111.

2. Повышение производительности и качества механической обработки на основе применения прогрессивных режущих инструментов / О.С. Кленов, Ф.В. Новиков, А.Г. Крюк // Вісник НТУ “ХПІ”: Зб. наук. праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харьков: НТУ “ХПІ”. − 2013. − № 42 (1015). − С. 90–95.

Клименко С.А., *Мельнійчук Ю.О.*, *Мановицький О.С.*,
Копейкіна М.Ю. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РІЗЦІВ, ОСНАЩЕНИХ НОВИМИ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИМИ НАДТВЕРДИМИ КОМПОЗИТАМИ

Робота присвячена дослідженню працездатності різців, оснащених новими полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору (cBN) та штучного алмазу, створеними в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

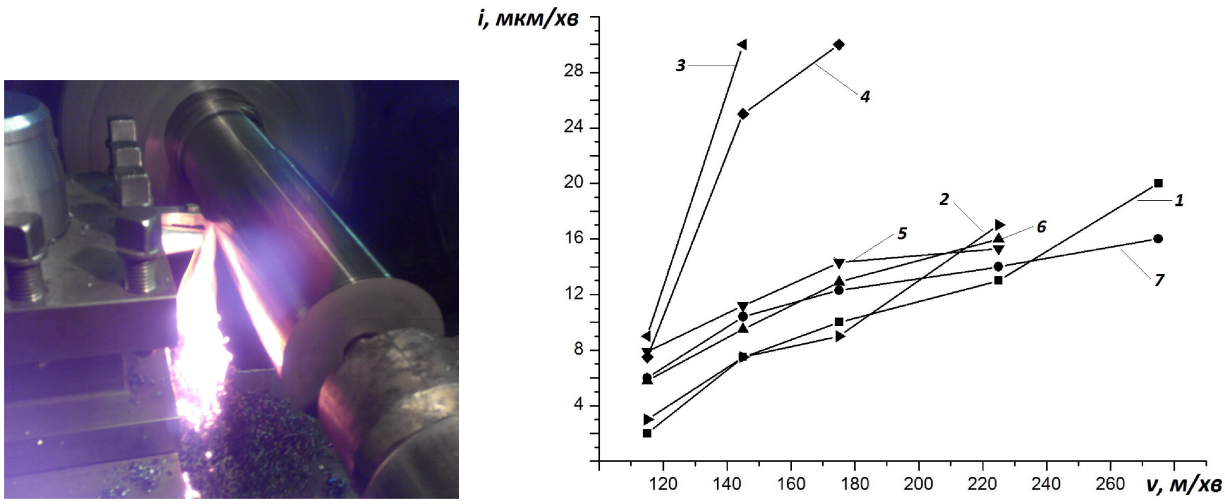
Різальні інструменти з керамо-матричними композитами (КМК) на основі кубічного нітриду бору (cBN) групи BL (вміст cBN 50–75%), дозволяють проводити високоефективну чистову лезову обробку виробів з Fe-C сплавів високої твердості (56–64 HRC), таких як загартовані леговані сталі, леговані та вибілені чавуни.

Різці з композитами cBN-TiN, cBN-TiC із низьким вмістом cBN (50–55 об.%) дозволяють ефективно проводити чистове точіння виробів з загартованих сталей (ХВГ, ШХ15, 30ХГСА, 40Х, У8), чавунів (СЧ 18, ІЧХ 12, ІЧХ 22) твердістю 60–64 HRC зі швидкостями різання v = 180–270 м/хв. (рис. 1, *а*) Це підвищує продуктивність обробки в 1,5–2,5 рази (з 3600 мм^3/хв. до 9000 мм^3/хв.) у порівнянні із існуючими технологіями обробки інструментом з високим вмістом cBN (група ВН). В таких умовах швидкість зношування розроблених інструментів у 1,5–5,0 разів нижче (в залежності від швидкості різання) у порівнянні із інструментами з високим вмістом cBN (95–97%), що дозволяє забезпечити високу якість обробленої поверхні при точінні протягом довготривалого часу. При швидкостях різання понад 250 м/хв. найбільш перспективне застосування різальних інструментів з композитом cBN-TiC (55 об.% cBN, 45 об.% TiC), які за інтенсивністю зношування не поступаються світовим аналогам (композит CBN100, фірми Seco (Швеція)) (рис. 1, *б*).

При високошвидкісному точінні забезпечується шорсткість обробленої поверхні на рівні *Ra* 0,32–0,63, *Rz* 4–6, що в ряді випадків дозволяє замінити на етапі чистової обробки операцію шліфування точінням інструментом, оснащеним КМК на основі cBN.

Інструменти з круглими або квадратними різальними пластинами, виготовленими із КМК групи BL, при високошвидкісній обробці забезпечують 8–12 періодів стійкості тривалістю 30–40 хв., що

дозволяє виконувати обробку великогабаритних виробів за один прохід без зміни різального інструменту.

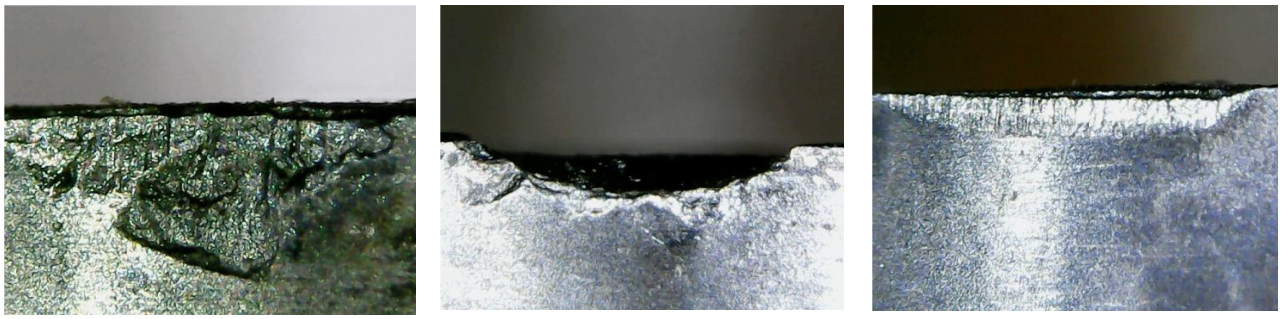


а *б*

Рисунок 1 – Обробка вала з загартованої сталі (*а*), залежність швидкості зношування різців з композитами на основі cBN від швидкості різання при точінні сталі ШХ15 (62 HRC) (*б*) (*S* = 0,1 мм/об; *t* = 0,2 мм):
1 – CBN100; *2* – WBN565; *3* – томал-10; *4* – борсинит; *5* – wBN (55 об. %)-TiN; *6* – wBN (55 об. %)-TiC; *7* – cBN (55 об. %)-TiC

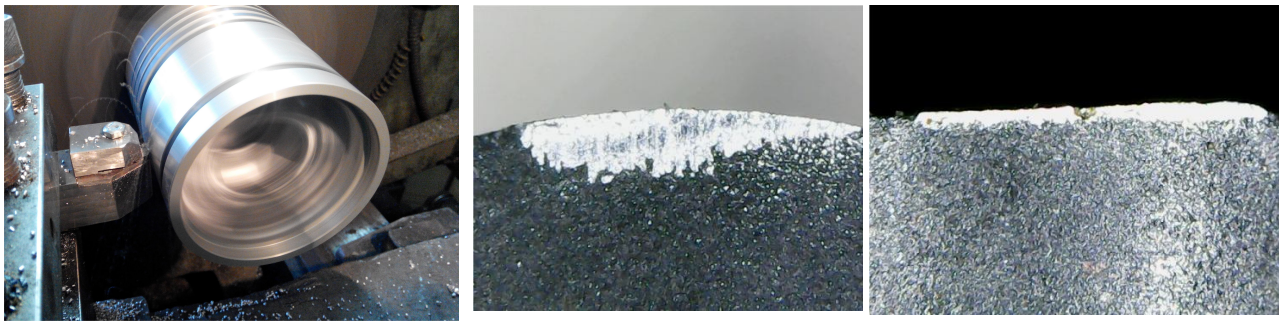
Обробка виробів, виготовлених з Fe-C сплавів середньої твердості (48–55 HRC), проводиться інструментом з КМК групи BL із швидкостями різання 300–360 м/хв., забезпечуючи стійкість інструменту 25–35 хв.

Інструменти, оснащені КМК групи BL із вмістом cBN 70–75 об.%, за інтенсивністю зношування при чистовому точінні високотвердих (60–64 HRC) залізовуглецевих сплавів із високими швидкостями різання *v* = 180–270 м/хв. поступаються на 25–30% аналогічним інструментам з композитам із вмістом cBN 50–55 об.%, проте дозволяють проводити обробку при незначних динамічних навантаженнях на інструмент, що відповідає умовам напівчистового точіння (рис. 2). В таких умовах обробка різцем з композитом із низьким вмістом cBN призводить до швидкого руйнування вершини різального інструменту шляхом утворення мікро- та макросколювань. Точіння інструментами з композитів з вмістом cBN 70–75 об.% може проводитись із підвищеними подачами (*S* = 0,2–0,3 мм/об) при високій стійкості інструменту, що значно розширює сферу застосування КМК на основі cBN. Різальні інструменти з композитом «алмаз-WC», мають високу працездатність при обробці виробів із алюмінієвих сплавів (типу АЛ25), вуглеграфітів, силіцьованого графіту, твердих сплавів (рис. 3).



а *б* *в*

Рисунок 2 – Контактні ділянки задніх поверхонь різців з композитами CBN100 (Seco) (*а*), cBN (55 об. %)-TiC (*б*), cBN(75 об. %)-TiC (*в*) після переривчастого точіння зразка зі сталі ХВГ (62–64 HRC) (*v* = 250–265 м/хв., *S* = 0,1 мм/об, *t* = 0,2 мм)



а *б* *в*

Рисунок 3 – Обробка поршня ДВЗ (*а*), передня (*б*) та задня (*в*) поверхні інструменту з композиту «алмаз-WC» після точіння поршня зі сплаву АЛ25 (*v* = 570 м/хв., *S* = 0,1 мм/об; *t* = 0,2 мм)

Випробування різців, оснащених пластинами RCMN 07T300 (передній кут $\gamma = 0°$, задній кут $\alpha = 7°$), показали їх високу працездатність при точінні поршнів двигунів внутрішнього згоряння (сплав АЛ25) з високопродуктивними режимами різання: швидкість різання v = 170–550 м/хв.; подача S = 0,05–0,20 мм/об; глибина різання t = 0,1–0,4 мм. Після 20 хв. роботи з вищезазначеними режимами знос на різальних інструментах практично не спостерігався. Якість обробленої поверхні поршнів відповідає технічним умовам.

Інструмент з композитом «алмаз-WC» дозволяє видаляти із заготовки поршня поверхневий дефектний шар зі значними макровідхиленнями профілю та проводити обробку із глибиною різання до 1,5 мм. Такий інструмент обробляє поверхні поршнів у вихідному після відливання стані (по корці), а також поверхні, що мають отвори та виступи (юбка поршня та ін.). Використання інструменту (v = 570 м/хв.; S = 0,05 мм/об; t = 0,2 мм; МОТС), оснащеного круглими пластинами діаметром 7,00 мм з геометричними параметрами $\gamma = 0°$, $\alpha = 11°$, дозволяє стабільно отримувати оброблені поверхні з параметром шорсткості *Ra* 0,45–0,52.

Застосування інструменту з композитом «алмаз-WC» дозволяє високоефективно обробляти вироби з твердого сплаву ВК15 із швидкостями різання до 40 м/хв. При цьому інтенсивність зношування інструментів при високопродуктивному (v = 30–40 м/хв.) точінні виробів з твердого сплаву ВК15 на 30–45 % нижча у порівнянні з різцями з алмазно-твердосплавними пластинами.

Дослідження показали, що застосування інструменту з композитом «алмаз-WC» дозволяє продуктивно оброблювати виробі з вуглеграфіту (на прикладі АГ 1500-С05) зі швидкостями різання 300–350 м/хв. Стійкість такого інструменту в залежності від умов обробки становить 80–120 хв.

Різці з пластинами з композиту «алмаз-WC», дозволяють оброблювати деталі, виготовлені з силіцьованого графіту (СГП ТУ 147-54-94, твердість 70–72 HRC) з режимами різання: v = 30–35 м/хв.; S = 0,05–0,10 мм/об; t = 0,1–0,2 мм.

У залежності від оброблюваного матеріалу і режимів різання при точінні різцями, оснащеними композитом «алмаз-WC», досягається шорсткість обробленої поверхні *Ra* 0,35–0,80.

Виконаний комплекс досліджень показав високу ефективність різальних інструментів, оснащених новими полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору та штучного алмазу, створеними в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Клименко С.Ан., Манохин А.С., Муковоз С.Ю.
Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Муковоз Е.А. ГВУЗ "Киевский транспортно-
экономический колледж" Национального транспортного
университета, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ

При разработке и создании покрытий для режущих инструментов теплопроводящие свойства указываются в качестве критерия оптимизации их эксплуатационных свойств. При этом подавляющее большинство исследователей указывают низкую теплопроводность

покрытия в качестве одного из главных факторов обеспечивающих повышение стойкости режущего инструмента вследствие изменения теплового баланса в зоне резания.

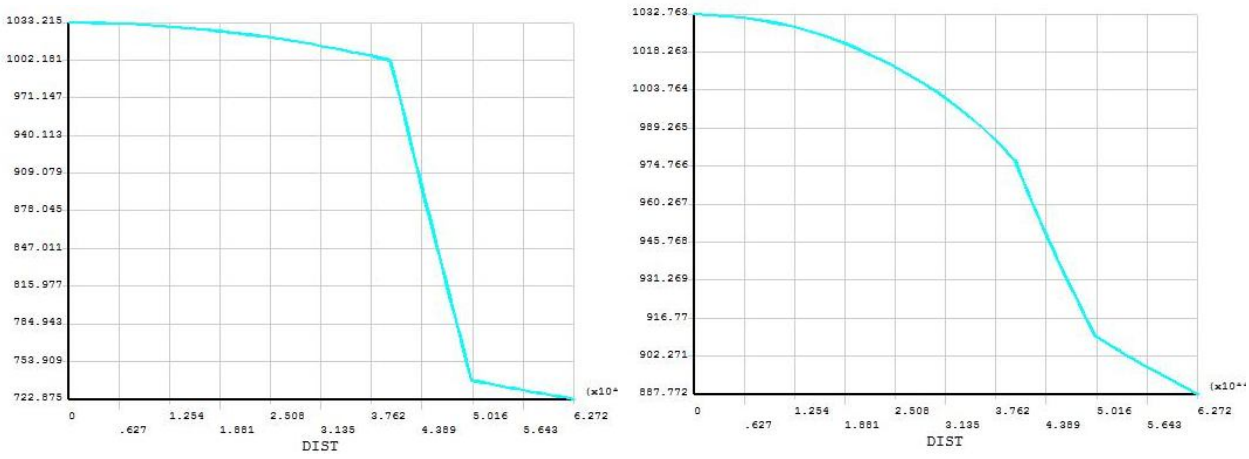
Оценить действительную степень влияния толщины покрытия и его теплопроводности на распределение температурного поля в приконтактной зоне можно путем численного моделирования трения стружки по передней поверхности инструмент. В качестве теплоизолирующего примем покрытие TiAlN, как обладающее одним из наименьших значений коэффициента теплопроводности. В зависимости от соотношения алюминия и титана, а также от способа нанесения его величина варьируется и составляет 4–10 Вт/мК.

В процессе моделирования решалась двумерная линейная нестационарная задача теплопроводности. На свободных поверхностях режущей пластины, и стружки были приняты граничные условия 3 рода. Температуру окружающей среды примем равной 20 °С.

На опорной части пластины в качестве граничного условия определен теплоотвод (плотность теплового потока составляет $q = -8 \cdot 10^{-7}$ Вт/м^2). Учитывая, что в стружке существует градиент скоростей перемещения материала с минимумом в приконтактной области и максимумом на ее свободной поверхности, модель стружки разделена на слои, скорость движения которых равна соответственно $0{,}4v_c$, $0{,}6v_c$, $1v_c$. При скорости резания 1,3 м/с – усадка стружки 2, тогда скорость стружки $v_c = 0{,}65$ м/с.

Размеры модели: толщина покрытия 10 мкм, длина режущей пластины 12 мм, высота 4 мм, длина стружки 0,2 мм, толщина стружки 0,04 мм.

На рис. 1 показана зависимость температуры от координаты вдоль оси Y в положительном направлении от точки 0 для двух типов покрытий: термозащитного с $\lambda = 5$ Вт/м·К (TiAlN) и покрытия с хорошей термической проводимостью $\lambda = 30$ Вт/м·К. Перегибы графиков на рисунке соответствуют точкам перехода от стружки к покрытию и от покрытия к подложке. На этих участках происходит падение температуры, обусловленное теплопроводностью покрытия. Ярко выраженное в том случае, когда коэффициент его теплопроводности составляет 5 Вт/м·К, оно уже слабо заметно при $\lambda = 30$ Вт/м·К. Также следует отметить более высокую температуру на поверхности покрытия с $\lambda = 5$ Вт/м·К при прочих равных условиях – 1002 °С и 976 °С соответственно.



а *б*

Рисунок 1 – Влияние покрытия на температурный градиент в режущей пластине: *а* – зависимость температуры от координаты вдоль оси *Y* при λ = 5 Вт/м·К; *б* – зависимость температуры от координаты вдоль оси *Y* при λ = 30 Вт/м·К

При характерных для твердого точения условиях обработки, температура резания составляет обычно 900–1200 °С. Для данных температур, теплозащитные свойства, обусловливающие снижение тепловой нагрузки в диапазоне 100–300 °С в подложке из cBN, обеспечивается только покрытием с теплопроводностью λ = 5–15 Вт/м·К (рис. 2).

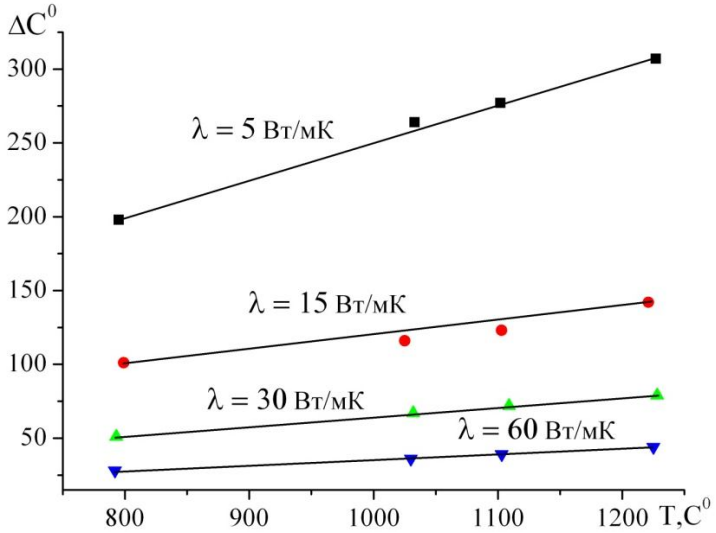


Рисунок 2 – Влияние коэффициента теплопроводности покрытия и температуры резания на разницу температур в точках, расположенных на покрытии и на подложке под ним

В случае, если коэффициент теплопроводности покрытия выше (15 Вт/м·К), такой материал оказывает минимальное влияние на температуру на поверхности раздела подложка-покрытие, не смотря на то, что величина теплопроводности cBN намного больше.

Константинов В.М., Булойчик И.А. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ТРЕБУЮЩИХ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВЫШЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Подбор типа конструкционного элемента и его антикоррозионной защиты следует производить с учетом особенностей условий окружающей среды, где планируется эксплуатация данного элемента металлоконструкции, а так же типа предполагаемого типа вероятного коррозионного процесса. Наибольшей степенью коррозионной агрессивности характеризуются промышленные зоны с высокой влажностью и агрессивной атмосферой, а так же прибрежные или находящиеся на некотором удалении от берега зоны с высоким содержанием солей в атмосфере и высоким уровнем загрязнения в условиях почти постоянной конденсации влаги. При выборе средств антикоррозионной защиты строительных конструкций важно определить степень коррозионного воздействия среды, в которой предполагается использование данного элемента конструкции. Если стальное изделие эксплуатируется в сухих отапливаемых условиях и является внутренним элементом конструкции, риск коррозионного разрушения данного изделия минимален и для этого изделия не требуется антикоррозионной защиты. В противном случае, если элемент стальной металлоконструкции используется в агрессивной среде, ему требуется высокоэффективная антикоррозионная обработка и это при том, что при проектировании такого изделия всегда необходимо учитывать реальный срок его эксплуатации. Оптимальная антикоррозионная обработка, включающая соответствующую подготовку поверхности, использование подходящих материалов для создания защитного покрытия и обеспечивающая длительный срок службы при минимальных затратах осуществима только при использовании современных технологий обработки поверхности. В случае плохой защиты конструкции придется проводить ремонтные работы задолго до окончания срока службы всего сооружения. Иногда, в окрашенных изделиях коррозия начинается изнутри, в том месте, где система покраски является ненадежной. Как правило, при расчете суммы затрат на защитное покрытие, оценивают отношение начальной стоимости работ к предполагаемому сроку эксплуатации

сооружения. Однако при этом забывают учесть, что оцинкованная конструкция за весь срок службы (около 25 лет) не потребует ремонта покрытия, в то время, как поверхность, окрашенная даже несколькими слоями, за тот же период потребует минимум одного, а то и трех перекрашиваний.

Принимая во внимание условия эксплуатации строительных элементов металлоконструкций, их устойчивость к коррозии обуславливается не только маркой стали, степенью антикоррозионной защиты, но и конструкционной формой. Поэтому, мероприятия по защите строительных конструкций от коррозии должны быть предусмотрены еще на стадии проектирования путем выбора конструктивных форм. Элементы конструкции следует проектировать так, чтобы на них можно было периодически возобновлять защитные покрытия. Если это требование выполнить невозможно, то должен быть предусмотрен такой тип антикоррозионной обработки, который обеспечит защиту конструкции на весь проектный срок эксплуатации. Основная причина коррозионного поражения стальной основы связана с невозможностью равномерного нанесения лакокрасочных покрытий на сложно доступных участках конструкций с большой степенью дефектности поверхности (пазы, выемки, отверстия). С учетом данной особенности, перспективными являются технологии диффузионного насыщения металлической поверхности в порошковой среде при температурах 400-500^{0}С [1]. Технология термодиффузионного цинкования позволяет получить диффузионные покрытия различной толщины, которые имеют ряд существенных преимуществ пред традиционными лакокрасочными и электролитическими цинковыми покрытиями, что обусловлено особенностями структуры термодиффузионных цинковых покрытий, представляющие собой интерметаллидные соединения на основе цинка и железа и имеющие повышенный комплекс эксплуатационных характеристик в сравнении с цинковыми покрытиями, получаемыми традиционными способами цинкования [2]. Сварка стальных элементов с термодиффузионными цинковыми покрытиями так же имеет ряд существенных преимуществ.

Таким образом, технология диффузионного цинкования ряда строительных конструкций позволяет повысить качество защиты изделий и сократить расходы на эксплуатационное обслуживание.

Литература

1. Konstantinov V.M., Buloichyk I. A. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts [Электронный ресурс] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 71 (2015) 012063 IOP, Режим доступа: http://iopscience.iop.org/1757-899X/71/1/012063.

2. Константинов В.М., Булойчик И.А. Цинковые антикоррозионные покрытия металлоконструкций сельхозпредприятий // Мат. международ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса АПК», г. Минск. – Мн., 2016. – С.181–185.

Константинов В.М., Ковальчук А.В., Ткаченко Г.А.
Белорусский национальный технический
университет, Минск, Беларусь

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТОНКИХ ТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ

Несмотря на значительный прогресс в области поверхностного упрочнения с нанесением PVD/CVD покрытий, существует проблема создания композитов типа «металл – наноструктурированное покрытие» с заданным значением свойств [1]. Так, пока нет известных технологических процессов, позволяющих реально получать композиты на основе стали с PVD/CVD покрытиями с заданным или регулируемым уровнем свойств. Поэтому актуальным является контроль свойств поверхностей с покрытиями по некоторым основным параметрам, в достаточной степени отражающим их возможности для условий работы упрочняемых изделий.

Цель работы состояла в том, чтобы выделить наиболее важные для контроля характеристики систем типа «металл – PVD/CVD покрытие», подобрать простые и эффективные способы их контроля и дать оценку их применимости.

На основе анализа литературных источников и по результатам собственных исследований определили наиболее важные для контроля характеристики поверхностей с покрытиями: нанотвердость и микротвердость, модули упругости и жесткость, износостойкость и коэффициент трения, адгезия.

Прямое измерение твердости тонких покрытий с использованием обычных методов микродюрометрии является не совсем корректным. Это связано с тем, что в процессе нагружения пластической деформации помимо покрытия, подвергается металлическая подложка. Считается, что значения истинной твердости твердого покрытия можно определить при очень малых нагрузках (< 0,01 Н) и глубине проникновения индентора < 10% от толщины покрытия, во всем остальном диапазоне нагрузок значения твердости будут зависеть от влияния основы и, как правило, будут занижены [2].

Вместе с этим существует способ определения истинной микротвердости покрытий [3], согласно которому для нахождения истинного значения микротвердости тонкого покрытия необходимо измерить микротвердость с поверхности образца при нагрузках 0,1 и 0,2 Н и из полученных значений определить истинную микротвердости покрытия расчетным путем. Такие результаты хорошо согласуются со значениями микротвердости и нанотвердости покрытий, определяемых соответственно по DIN EN ISO 3497 и DIN EN ISO 14577-1.

Значения модулей упругости и жесткости покрытий принято определять при обработке кривых нагружения-разгрузки, получаемых при наноиндентировании [4]. Одной из наиболее распространенных для этого является методика Оливера-Фарра [5]. По мнению многих авторов, эта методика на сегодня отражает наиболее полное представление об определении твердости покрытий и микрокомпозиционных материалов, а также учитывает явление упругого восстановления.

Оценку износостойкости деталей с покрытиями зачастую проводят с использованием методов определения износостойкости объемных материалов, что обусловлено отсутствием унифицированных методов определения износостойкости покрытий. В то же время оценка износостойкости самого покрытия на конкретных материалах деталей представляет определенные трудности, хотя такие данные представляют значительный практический интерес. Совместно с коллективом лаборатории элионики НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ под руководством чл.-корр. НАН Беларуси, д-ра физ.-мат. наук, профессора Комарова Ф.Ф. разработана авторская методика сравнительных трибологических испытаний образцов с покрытиями по схеме «вал – колодка», последующая обработка результатов по которой позволяет получить значения износостойкости непосредст-

венно покрытий [6]. За основу взят способ Жаннена, реализованный в машинах Шкода-Савина и Шпинделя.

Наиболее известными методами определения силы адгезии покрытий является метод царапания и метод отрыва покрытия от основы. Наиболее прижившимся на практике является метод царапания (стандарт VDI-3198). Контроль величины адгезии по этому методу позволяет оптимизировать в первую очередь технологические процессы получения покрытий.

Таким образом, выделены наиболее важные для контроля характеристики систем «металл – PVD/CVD покрытие», рассмотрены наиболее распространенные методы исследований свойств указанных систем. Подобрана совокупность методов исследований, позволяющая достоверно оценить свойства поверхности с тонкими твердыми вакуумными покрытиями.

Литература

1. Metallic and Ceramic Coatings (Eds. M.G. Hocking, V. Vasantasree, P. Sidky). – Harlow: Longman scientific & technical, 1989. – 670 p.

2. Методический подход к созданию топокомпозита триботехнического назначения «сталь – PVD покрытие» / А. В. Ковальчук, Г. А. Ткаченко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр.: в 3 кн. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 2014. – Кн. 1. – С. 164–174.

3. Чумиков, А. Б., Анифьев В. А. Способ измерения микротвердости тонких металлических покрытий // Патент RU № 2132546; G 01N 003/44; 27.06.1999.

4. Головин Ю. И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикрообъемах, тонких приповерхностных слоях и пленках (обзор) // Физика твердого тела. – 2008. – т.5, №12. – С. 2113–2142.

5. Improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments / W.C. Oliver; G.M. Pharr // J. of mat. res. – 1992. – Vol.7, №6. – P. 1564-1583.

6. Контроль трибологических свойств PVD/CVD покрытий / В. М. Константинов, А.В. Ковальчук // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Мат. 14-й Международ. науч.-практ. конф. 23-26 сент. 2014 г., г. Одесса. – К.: АТМ Украины, 2014. – С. 63–65.

Корбут Є.В. НТУ України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ ПКМ

На сьогоднішній день для виготовлення деталей авіакосмічного комплексу широко застосовуються полімерні композиційні матеріали (ПКМ). Так по даним авторів [1] частка ПКМ використовуємих для виробництва літака Boeing 767 складає біля 60% від всієї номенклатури використовуваємих матеріалів. Але, у зв'язку з специфічними властивостями ПКМ процес їх обробки значно відрізняється від традиційних методів обробки металів. Згідно [1] обробка різанням ПКМ має низку особливостей, що відрізняє їх від аналогічної обробки металів, а саме: 1) анізотропія властивостей ПКМ; 2) складність одержання високої якості поверхневого шару; 3) низька теплопровідність матеріалів; 4) інтенсивний абразивний вплив наповнювача, оскільки наповнювачем у ПКМ є скляні, вугляні волокна, що мають високу абразивну здатність; 5) неможливість застосування в більшості випадків мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), що обумовлено високим вологовбиранням більшості ПКМ і необоротньою зміною їх фізико-механічних властивостей; 6) специфічні вимоги техніки безпеки під час різання ПКМ, що пов'язано з виділенням дрібнодисперсних частинок матеріалу під час різання.

По даним автора [2], у зв'язку з низькою теплопровідністю матриці ПКМ 90% температури концентрується в зоні різання, що ставить питання розробки прогресивних конструкцій ріжучого інструменту, його геометрії та модифікації поверхневого шару інструменту, що дозволить відвід тепла з зони різання.

В наслідок цього постало питання пошуку нових методів обробки, оптимізація існуючих методів та розробка інструментів з специфічними властивостями поверхневих шарів.

Характерною рисою технологій поверхневого зміцнення є те, що не вдається одержати одночасного підвищення всіх властивостей деталі для всіх режимів експлуатації.

Навіть той самий матеріал покриття, але нанесений різними способами, показує різні експлуатаційні властивості.

Широкому впровадженню зміцнюючих захисних покриттів перешкоджає їхня недостатня міцність і довговічність. Сьогодні думка

про недостатню міцність покриттів в екстремальних умовах експлуатації загальновизнано у вітчизняної і в закордонній літературі [3].

Спроби підвищити міцність покриттів збільшенням міцності адгезійного зв'язку не дають позитивного ефекту, навіть знижують міцність і пластичність основного матеріалу.

Для усунення відзначених недоліків на цей час у розробці матеріалів для покриттів використають два методи:

1) створення багатошарових покриттів аж до мультиплікації; кожний шар у багатошаровому покритті виконує власну функцію й забезпечує плавний перехід фізико-механічних властивостей покриття від поверхні до основи;

2) створення багатокомпонентних шарів змінної сполуки по товщині покриття.

Обидва методи значно здорожують технологію одержання покриття й знижують надійність одержання покриття високої якості [3].

У спробах усунення недоліків покриттів спостерігаються дві основні тенденції:

- нанесення багатошарових, багатофункціональних покриттів;
- розвиток інтегрованих багатоопераційних технологій [4].

Кожна технологія поверхневого зміцнення має свою нішу оптимальних умов використання, включаючи навіть технологічні традиції, що склалися на конкретному підприємстві. В даний час ще не склалася методологія синтезу багатоопераційних технологій. У інтегруванні технологій переважає емпірично-інтуїтивний підхід. Вирішальним фактором у виборі первинних технологій і завершальних технологічний ланцюг є наявність на підприємстві окремих видів устаткування і можливість інтегрувати їх в єдиний технологічний цикл.

Література

1. Авиационно-космические материалы и технологии / В.А. Богуслаев, А.Я. Качан, Н.Е. Калинина и др. – Запорожье: Изд. ОАО "Мотор Сич", 2009. – 383 с.

2. Лабунец В.Ф. Авиационные конструкционные материалы с высокой удельной прочностью: уч. пособие. – К.: КМУГА, 1993. – 116 с.

3. Покриття і їхнє використання в техніку // Міцність матеріалів і конструкцій: сб. тр. / под. ред. В.Т. Трощенко. – К.: Академпериодика, 2006. –С. 981–1074.

4. Методи зміцнення поверхонь машинобудівних деталей / М.В. Новіков, А.А. Бідний, Б.А. Ляшенко та ін. – К.: ІНМ АН УРСР, 1989. – 112 с.

Корзун А.Е., Волотовский Ф.А.
ОАО «ОКБ Академическое» НАН Беларуси,
Бородавко В.И., Пынькин А.М. ОАО «НПО Центр»
НАН Беларуси,
Гайко В.А., Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

В основу производственной деятельности современных предприятий машиностроительных отраслей заложена предметная специализация. Поэтому производственные структуры предприятий машиностроения характеризуются: отсутствием ярко выраженной технологической специализации производств и недостаточной гибкостью оборудования при переходе предприятия к выпуску новой продукции.

В современных условиях стоит задача перехода на технологическую специализацию. Изделия с большим объемом выпуска также целесообразно изготавливать, начиная с небольших партий на гибком производстве. Это позволяет усовершенствовать конструкцию изделия, отработав ее технологичность и ускорить сроки освоения больших объемов выпуска.

В условиях рыночной экономики к числу важнейших показателей, характеризующих конкурентоспособность, относится способность его быстрой переналадки, адекватной спросу потребителя. В настоящее время машиностроительное производство приобретает такие новые качества, как гибкость и высокий уровень автоматизации, достигаемые созданием и внедрением мехатронных технологических комплексов (ТК).

В гибком производстве автоматизации подлежат как сам технологический процесс, так и работы по подготовке и планированию производства. Автоматизация проектирования технологии и управления производственными процессами – один из основных путей интенсификации производства, направленный на повышение его эффективности и качества выпускаемой продукции, уменьшение затрат на подготовку производства и сроков освоения новой продукции. Использование гибкого программно переналаживаемого технологического оборудования позволяет изготавливать детали в любом порядке и варьировать их выпуск в зависимости от производственной программы, повышает коэффициент использования обору-

дования, изменяет характер работы персонала, повышая удельный вес высококвалифицированного труда.

Противоречивость требований мобильности и производительности, предъявляемых к машиностроительному производству, находит разрешение в создании гибких производственных систем (ГПС). Под ГПС понимают совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Использование ГПС и ТК позволяет варьировать выпуск деталей в зависимости от производственной программы, сокращает затраты и время на подготовку производства, повышает коэффициент использования оборудования. Высокая эффективность производства достигается рациональным сочетанием оборудования, организацией транспортных операций и управления ГПС.

Наряду с гибкостью производства, вторым фактором, определяющим научно-технический прогресс в машиностроении, является автоматизация производственных процессов. Это обусловлено тем, что автоматизация, помимо повышения производительности труда, обеспечивает стабильность качества изделий, повышает точность обработки, решает проблемы социального характера. Таким образом, в настоящее время машиностроительный комплекс приобретает такие новые качества, как гибкость и высокий уровень автоматизации.

Повышение эффективности производства новой техники и деталей машин непосредственно зависит от качественно нового использования технологических и информационных систем. До появления систем ЧПУ металлорежущими станками понятия гибкость и автоматизация были альтернативными, так как для автоматизации цикла работы станка, при изменении номенклатуры обрабатываемых деталей, требовались большие затраты на подготовку производства. В результате этого повышение производительности труда за счет автоматизации не покрывало затрат, вызванных переналадкой станков в многономенклатурных производствах.

Использование систем числового программного управления циклом работы станков позволило уменьшить трудоемкость обработки до 5 раз в зависимости от сложности деталей и вида обработ-

ки. Однако при этом остаются неавтоматизированными ряд ручных операций, связанных с загрузкой заготовок и выгрузкой готовых деталей, подбором и установкой инструментов и требуемой оснастки, периодическим контролем точности обработки, подналадкой станка и т.п. Автоматизация указанных операций обусловила создание роботизированных ТК и гибких производственных модулей.

Технологические процессы изготовления деталей машин носят дискретный характер, обусловленный сопровождающимися систематическими и случайными изменениями условий обработки. К числу систематических факторов, возмущающих процесс резания, можно отнести закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии режущего инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемой заготовки. К случайным, вероятностным факторам, влияющим на нестабильность процессов обработки, относятся: неоднородность структуры и физико-механических свойств заготовок; нестабильность припуска; неоднородность пластической деформации при резании; изнашивание и разрушение режущего инструмента; изменение жесткости технологической системы и др. Стабилизация параметров качества обрабатываемой поверхности обеспечивается путем повышения устойчивости нестационарных технологических систем и базируется на поддержании диапазона режимов обработки, обеспечивающих диссипацию потоков энергии в процессах самоорганизации поверхностных явлений.

В результате, конкурентоспособность машиностроительных производств обусловлена гибкостью средств технологического оснащения, способных обеспечить частую сменяемость номенклатуры выпускаемых изделий, их минимальную себестоимость и высокое качество.

Удовлетворение требований мобильной реструктуризации и высокой производительности машиностроительного производства достигается путем комплексной компьютеризации и автоматизации производственных процессов, за счет широкого использования ЧПУ в гибких производственных модулях, робототехнических ТК и ГПС предприятий.

Компьютерная интеграция всех этапов производственных процессов обеспечивает автоматизацию технологической подготовки производства и производственного процесса в целом. Эффективность интеграции базируется на реализации принципов типовой, групповой и комплексной технологии при планировании и организации производства. Использование систем автоматизированного

проектирования повышает производительность в десятки раз и гарантирует качество разрабатываемой технической документации за счет более полного использования накопленных знаний.

Системы программного управления оборудованием позволяют обеспечивать информационную связь на производственных этапах жизненного цикла изделия. При автоматизации рабочего цикла ТК необходимо учитывать нестабильности технологических систем, вызванные изменением свойств обрабатываемых заготовок в рабочей зоне.

Повышение устойчивости нестационарных технологических систем, основано на стабилизации протекающих диссипативных процессов и явлениях их самоорганизации. Обеспечение устойчивости технологических систем, базируется на поддержании диапазона режимов обработки, обеспечивающего диссипацию потоков энергии в процессах самоорганизации поверхностных явлений.

Лабунець В.Ф., Загребельний В.В., Паньков Р.В., Земляний А.О. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

Ресурс сучасної техніки в основному залежить від працездатності елементів трибосистем. Термін служби визначається зносом деталей – зміною розмірів, форми, маси або стану їх поверхонь внаслідок зношування, тобто руйнування поверхневого шару при терті. Швидкість зношування деталей залежить від багатьох причин: від матеріалу, з якого вони виготовлені; умов і режимів їх роботи; характеру змащування поверхонь тертя; питомого зусилля, швидкості ковзання; температури в зоні контакту; середовища.

Зміцнення поверхневих шарів елементів трибосистем зносостійкими покриттями є універсальним і надійним способом за допомогою якого можливо збільшити їх працездатність. За допомогою зносостійких покриттів триботехнічного призначення можливо досягти оптимального забезпечення високих значень твердості і міцності. Це, в свою чергу, надасть змогу підвищити зносостійкість деталей машин, надійність та довговічність машин і механізмів вціло-

му, а також знизить витрату матеріально-технічних ресурсів та коштів (за рахунок відновлення деталей) на машинобудівних підприємствах, як в Україні, так і у світі. Тому розроблення нових методів поверхневого зміцнення деталей вузлів тертя є актуальним.

На сьогодні відомо багато методів поверхневого зміцнення, в тому числі нанесення покриттів на різноманітні конструкційні матеріал [1], серед яких особливе місце займають композиційні електролітичні покриття (КЕП). Проте широкого розповсюдження у машинобудівній галузі ці покриття не знайшли у зв'язку з малою кількістю даних про їх зносостійкість у різноманітних умовах їх контактної взаємодії. Отримані нами результати досліджень триботехнічних характеристик КЕП на основі нікелю, частково вирішують цю проблему.

КЕП отримують із суспензій, які являють собою електроліти з добавкою визначеної кількості високодисперсних порошків. При накладанні електричного струму на поверхні предмету, який покривається осідає метал (перша фаза або матриця) і частинки порошку (друга фаза), які цементуються матрицею. В якості матричного матеріалу використовують залізо, нікель, кобальт та інші метали, а твердими частинками слугують карбіди, бориди, нітриди, оксиди і т.п. [2].

Вибір дисперсних частинок для КЕП триботехнічного призначення залежить від умов у яких працює трибосистема. Так, наприклад, для вузлів тертя, які експлуатуються без олив у якості дисперсних частинок покриттів використовують графіт, дисульфід молібдену, нітрид бору, які забезпечують працездатність робочих поверхонь самозмащуванням.

У переважній більшості випадків матричним матеріалом КЕП слугує нікель, так як він володіє спорідненістю до великої кількості різноманітних частинок, які використовуються у якості другої фази, і легко утворюють з ним покриття.

Хороші фізико-механічні властивості і максимальна зносостійкість КЕП на основі нікелю досягаються при оптимальному вмісті другої фази.

Дослідити зносостійкість КЕП на основі нікелю. КЕП наносили на зразки зі сталі 45. Випробування на тертя і зношування проводили машині тертя СМЦ-2 за схемою ролик-ролик. Один ролик був нерухомим (зразок з покриттям), а другий крутився (контртіло), що моделювало тертя ковзання. Як матеріал контртіла в усіх випадках застосовували сталь 45, термооброблену до твердості 50–52 HRC. Змащення відбувалося зануренням контртіла в маслянну ванну.

Швидкість ковзання становила: V = 1 м/с, навантаження: P = 1 МПа., шлях тертя: S = 100 м і S = 1000 м .

Режими випробувань були вибрані на основі дослідів так, що б в діапазоні швидкостей і навантажень, які реалізовуються на машині тертя, забезпечити відтворення для досліджуваних матеріалів процеси тертя і зношування вузлів тертя машин і механізмів.

Результати досліджень показали, що композиційні електролітичні покриття системи Ni-TiB_2(0,8) + $MoSi_2$(0,2) в порівнянні з термообробленою Ст.45 володіють більшою зносостійкістю.

На їх робочих поверхнях виникають вторинні структури, процеси активації і пасивації в зоні трибоконтакту врівноважуються, глибоких виривів і сколювання покриття не спостерігалось, що свідчить про розвиток окислювального зношування. Пластична деформація локалізується у дуже тонких поверхневих шарах покриття, а знос зумовлений видаленням вторинок структур. Поверхні зразків гладкі з малою шорсткістю. Покриття добре припрацьовуються, протистоять явищам схоплення і володіють високою релаксаційною здатністю.

Література

1. Трибологія: підручник / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Е.В. Корбут.– К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк»,2009.– 392 с.

2. Износостойкие композиционные диффузионно легированные электролитические покрытия / М.В. Лучка, М.В. Киндрачук, П.И. Мельник та др. – К.: Техніка, 1993. – 143 с.

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Шатохин В.В., Смоквина В.В., Пасичный О.О., Зайцева И.Н. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ И ГЕОМЕТРИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Одним из важнейших путей достижения более высокого класса чистоты обрабатываемой поверхности и увеличения износостойкости алмазного инструмента является повышение размерной одно-

родности зернового состава и формы зерен шлифпорошка алмаза, применяемого в инструменте. Особенно эффективно использование порошков алмаза с повышенной однородностью в различных отраслях промышленности, где требуется повышенная точность формы и высокий класс чистоты обрабатываемой поверхности.

На порошках синтетического алмаза марки АС20 зернистости 100/80 были выполнены исследования получения порошков алмаза однородных по размерам и геометрическим характеристикам. При дополнительной классификации исходных порошков с помощью ситового метода на ситах R-20 была выделена узкая фракция 100/90, из которой при сортировке по форме зерен получены порошки с коэффициентом формы ($К_Ф$=1,07 и $К_Ф$=1,75).

На приборе DiaInspect.OSM [1] была проведена диагностика морфометрических характеристик исходного шлифпорошка и порошков, полученных после его разделения по коэффициенту формы зерен (табл. 1). Диагностировались следующие размерные и геометрические характеристики: максимальный (F_{max}) и минимальный (F_{min}) диаметры Фере, эквивалентный ($d_э$) и средний ($d_с$) диаметры, а также площадь и периметр проекции зерен. Более полное описание этих и других морфометрических характеристик абразивных порошков, диагностируемых прибором DiaInspect.OSM. дается в работах [1, 2]. На основании результатов DiaInspect-диагностики была рассчитаны показатели однородности [3, 4] исследуемых порошков по этим характеристикам.

Количественный анализ числовых данных табл. 1 подтверждает, что однородность полученных после разделения шлифпорошков значительно выше, чем в исходного шлифпорошка. Представляет научный и практический интерес то, как эти различия отразятся на показателях обработки. С этой целью были изготовлены экспериментальные шлифовальные круги, в режущем слое которых были использованы исследуемые шлифпорошки.

Для оценки влияния размерных и геометрических характеристик синтетических алмазов на износостойкость шлифовального инструмента, при шлифовании твердого сплава ВК-6, была изготовлена серия шлифовальных кругов формы 12А2-45º на полимерной связке В2-08, с использованием алмазов марки АС20 зернистости 100/80 исходных и после выделения узкой фракции 100/90 и дополнительного разделения по форме зерен.

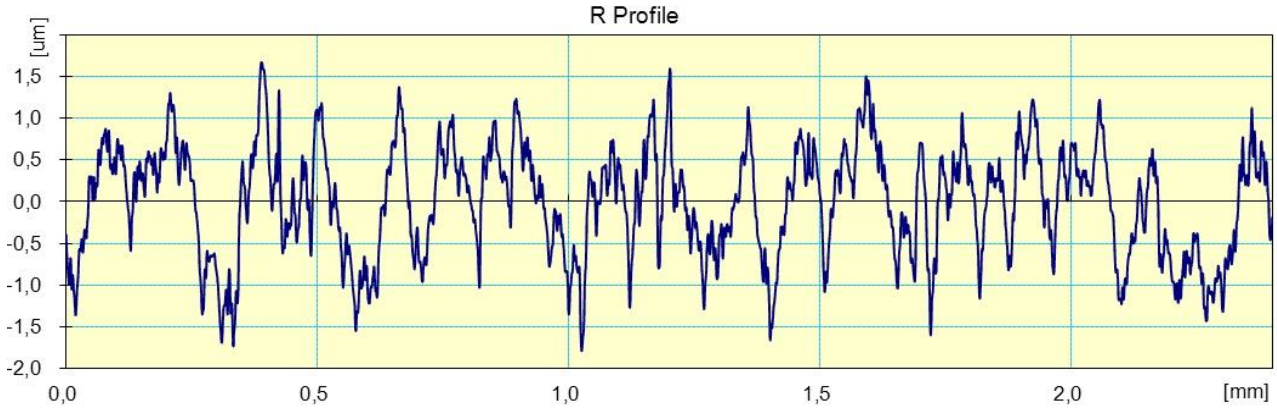
Таблица 1 – Название морфометрических характеристик шлифпорошка АС20 100/80 исходного и разделенных по форме зерен (образцы №1 и №2), их средние значення (с.з.) и показатели однородности (одн.)

Название характеристик	Исходный		После разделения по коэффициенту формы зерен			
			образец № 1		образец № 2	
	с. з.	одн.	с. з.	одн.	с. з.	одн.
F_{max}, мкм	138,9	0,664	143,2	0,718	148,40	0,671
F_{min}, мкм	107,2	0,675	115,8	0,726	111,1	0,714
$d_с$, мкм	123,1	0,620	129,4	0,688	129,7	0,668
$d_э$, мкм	116,2	0,649	124,5	0,675	121,6	0,696
A_t, мкм^2	11011	0,448	12292	0,625	11768	0,596
p, мкм	417,2	0,643	434,7	0,707	440,6	0,673

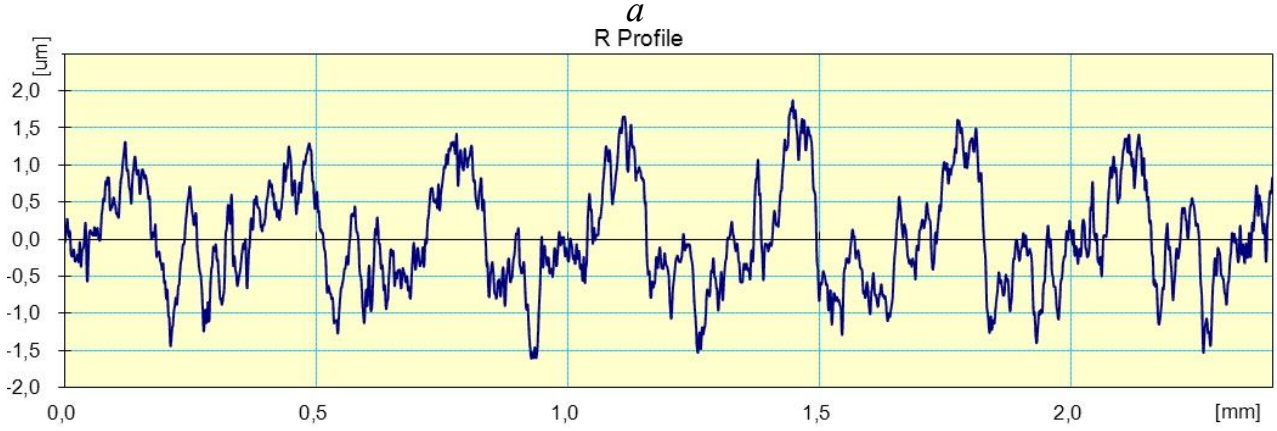
Исследования показали, что шлифовальные круги изготовленные из порошков с коэффициентом формы $К_Ф$ = 1,07 имеют одинаковую износостойкость и аналогичные показатели шероховатости, со шлифовальными кругами с $К_Ф$ = 1,75 при малых производительностях обработки. По мере роста производительности обработки, показатели шероховатости обработки, для кругов с алмазами $К_Ф$=1,75, незначительно увеличиваются, а износостойкость становится заметно больше, по сравнению с $К_Ф$=1,07.

Так для производительности 50мм^3/мин износостойкость и показатель шероховатости обработанной поверхности *Ra* соответствуют 0,0035мг/г и 0,41мкм для $К_Ф$=1,07, а для $К_Ф$=1,75–0,004мг/г и 0,44 мкм, соответственно. Но для производительности 400 мм^3/мин, эти показатели и их соотношения совсем другие: 0,075 мг/г и 0,8 мкм для $К_Ф$=1,07, а для $К_Ф$=1,75–0,0037 мг/г и 0,92 мкм

Однако наиболее заметное отличие в форме микропрофиля обработанной поверхности, для инструментов содержащих алмазы разной формы. При использовании зерен с $К_Ф$ = 1,75, микропрофиль обработанной поверхности гораздо более регулярен при любой производительности обработки (рис. 1).



а



б

Рисунок 1 – Микропрофиль обработанной поверхности, при производительности шлифования 100 мм^3/мин, инструментом с алмазами $К_Ф$ = 1,07 (*а*) и $К_Ф$ = 1,75 (*б*)

Литература

1. DiaInspect / DiaInspect.OSM operating manual. – Режим доступа: http://www.vdiamant.de/English/download.htm

2. Петасюк Г.А. Діагностика морфометричних характеристик порошків надтвердих матеріалів засобами цифрової обробки зображень // Відбір і обробка інформації.– 2009.– вп. 30 (106).– С. 138–145.

3. Петасюк Г.А. Системно–критеріальний метод кількісної оцінки однорідності надтвердих дисперсних матеріалів // Фізико–хімічна механіка матеріалів.– 2003. – №5. – С. 101–105.

4. Сафонова М.Н., Петасюк Г.А. Сыромятникова А.С. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе.– Новосибирск: Из-во СО РАН.– 2013. – 222 с.

Лавриненко В.И., Пасичный О.О., Ильницкая Г.Д.,
Полторацкий В.Г. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Солод В.Ю., Музычка Д.Г., Поизд И.Н.
Днепродзержинский государственный технический
университет, Каменское, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Известно, что стандартные алмазные шлифпорошки для абразивных операций в машиностроении характеризуются достаточно широким диапазоном их показателей для конкретной марки порошка и его зернистости: прочности, зернистости, содержанием основной фракции, формы зерен и др. В случае особых требований к качеству обработанной поверхности возможно использование более однородных порошков при дополнительном их рассеве. В данной работе нами исследовалось влияние величины коэффициента формы алмазных зерен на эксплуатационные показатели алмазных кругов при шлифовании твердых сплавов. При этом укажем, что коэффициент формы зерен рассчитывают как отношение длины проекции зерна к ширине этой проекции.

Для проведения экспериментов были выбраны алмазные зерна АС20 достаточно узкого диапазона зернистости в 100/90 из которых были выделены три навески: исходной смеси АС20 100/90, отобранной навески зерен АС20 100/90 с коэффициентом формы (Кф) 1,07 и второй отобранной навески с коэффициентом формы Кф = 1,75. Такие значения коэффициентов формы были выбраны, чтобы они имели достаточную разницу и их можно было рассеять из исходной смеси. Далее из данных навесок были изготовлены шлифовальные круги формы 12А2-45° 125х5х3х32 на полимерной связке В2-08 при 100%-ной относительной концентрации алмазов в рабочем слое, которые далее испытывались при шлифовании твердого сплава Т15К6 без охлаждения при производительности обработки от 50 до 400 мм^3/мин. Регистрировали износ алмазных кругов, шероховатость обработанной поверхности и особенности волнового формоизменения рабочей поверхности круга в окружном направлении.

Проведенными экспериментами установлено, что разница в форме алмазных зерен начинает ощущаться только с производительностей обработки в 200 мм^3/мин, а наиболее ощутимо это фиксируется на производительности 400 мм^3/мин. При этой производительности относительный расход алмазов в кругах при смеси АС20 100/90 составляет 4,8 мг/г, при АС20 100/90 (Кф = 1,07) равен 2,8 мг/г и при АС20 100/90 (Кф = 1,75) он составляет 1,5 мг/г. Таким образом, в том случае, когда мы смесь алмазов разделяем на более однородную по форме это позволяет снизить износ кругов, причем большее снижение наблюдается при большем значении величины коэффициента формы. На наш взгляд, это в определенной степени вызвано большей однородностью алмазов, что определяет и их более однородное выступание из связки, а значит и более равномерное распределение нагрузки на режущие зерна.

Теперь рассмотрим, что у нас происходит с шероховатостью обработанной поверхности (рис. 1). Точно так же как и по износу зерен, определенное отличие в шероховатости начинает наблюдаться при производительности в 200 мм^3/мин, а более ощутимое при 400 мм^3/мин. При этом видим, что разделение алмазных зерен на более однородные по коэффициенту формы однозначно приводит, по сравнению с их смесью, к существенному росту шероховатости обработанной поверхности. Связано это, на наш взгляд, с тем, что на рабочей поверхности круга как с алмазами с Кф = 1,07, так и с Кф = 1,75 в окружном направлении формируется устойчивый волновой профиль и четко наблюдается фронт волны, который и отвечает за снятие припуска. Это обозначает, что круг изнашивается более равномерно, но поскольку площадь поверхности круга, ответственная за снятие припуска, здесь меньше, то естественно возрастает выступание зерен и, как следствие, растет шерохова-

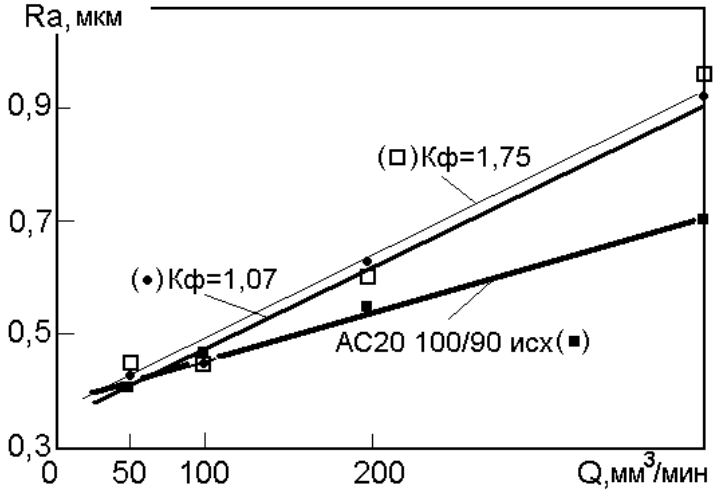


Рисунок 1 – Изменение шероховатости обработанной поверхности по параметру Ra от производительности обработки при использовании алмазных зерен АС20 100/90 с различным коэффициентом формы

тость обработанной поверхности. В круге с исходной смесью алмазных зерен волновое формоизменение наблюдается нечетко, что связано с повышенным износом круга. В резании в этом случае принимает большее количество зерен и шероховатость ниже.

Таким образом, проведенные исследования показали, что коэффициент формы алмазных зерен может оказать существенное влияние на эксплуатационные показатели процесса шлифования и представляется необходимым продолжить данные исследования.

Лавриненко В.И., Пащенко Е.А., Ткач В.Н.,
Ильницкая Г.Д., Шатохин В.В., Смоквина В.В.,
Пасичный О.О., Девицкий А.А., Зайцева И.Н.
Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ

Развитие инструментального производства, а также необходимость в обработке труднообрабатываемых материалов вызывают необходимость получения композиционных покрытий с новыми свойствами, позволяющими укреплять с помощью электризации и функционирования термоЭДС в зоне контакта инструмента с деталью.

Одним из путей повышения износостойкости алмазно-абразивного инструмента и увеличения алмазоудержания является металлизация алмазов различными покрытиями [1–3].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что одной из причин алмазоудержания является, во-первых, граничное химическое взаимодействие с элементами покрытия при высокотемпературном изготовлении инструментов на металлических связках, во-вторых, диффузионным взаимодействием на границе покрытие-связка. В результате вокруг зерна алмаза образуется легированная зона с повышенными прочностными свойствами [3].

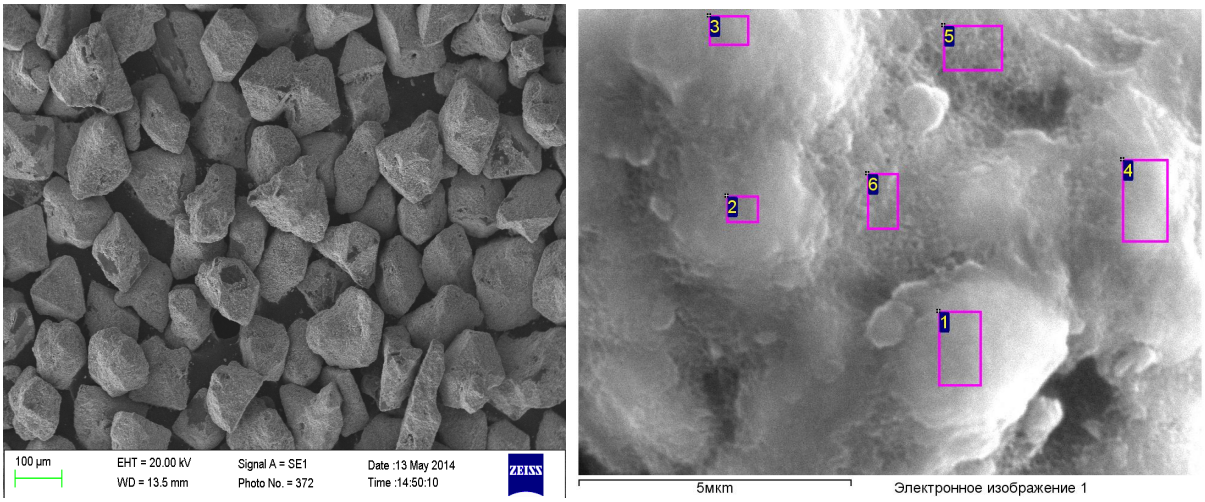
Целью настоящей работы является получение композиционных покрытий Ni-Al Cu-Al на порошках алмаза марки АС20 зернистости 100/80. Порошки алмаза марки АС20 зернистости 100/80 металлизированные методом химического восстановления Ni (25 масс.%) и

Cu (38 масс.%) были покрыты методом обкатки в присутствии специального связующего тонкодисперсным порошком алюминия марки АСД крупностью 40 мкм. Высушенные образцы спекали в печи в воздушной среде при температуре 900^0С. Степень металлизации алмазов с композиционным покрытием составляла 70–75 масс.%.

Были проведены электронномикроскопические исследования на электронном микроскопе ZEISS ULTRASS.

Измерения электрофизических характеристик и измерение статической (механической) прочности алмазов с покрытиями проводили по методикам разработанным в ИСМ НАН Украины. Термоокисление металлизированных алмазов проводили на масс-спектрометре МИ 1201 с интервалом температур 20–1000 °С в воздушной среде.

С помощью электронно-микроскопического анализа исследовали структуру композиционных покрытий металлизированных алмазов. На рис. 1 представлены электронно-микроскопические изображение алмазов марки АС20 100/80, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al.



а *б*

Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки АС20 100/80, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al:
а – общий вид металлизированного порошка; *б* – структура поверхности покрытия

Как следует из рис. 1, *а* и *б* видно, на зернах алмаза металлизированных композиционным покрытием Ni-Al сформирована плотная структура. Оценивая фазовое состоянии покрытий с учетом, что растворимость Ni в Al в твердом состоянии (640 ^{o}С) составляет 0,05

вес. %, а при 630 ^{o}C и выше мы предполагаем, возможно, образование фазы постоянного состава Ni_3Al.

Результаты измерения статической (механической) прочности алмазов исходных без покрытия и с металлизированными покрытиями показывают, что прочность порошков алмаза марки АС20 зернистости 100/80 исходных (13,9 Н) после металлизации поверхности Cu увеличилась до 25,7 Н, а после металлизации Ni до 18,3 Н. Покрытия металлизированных порошков Al способствовало изменению прочности алмазов с композиционными покрытиями Cu-Al до 16,9 Н и Ni-Al до 18,9 Н.

На основании проведенных термодесорбционных исследований установлено, что создание на поверхности алмазов марки АС20 зернистости 100/80 металлизированных композиционных покрытий Ni-Al увеличивают их удельную площадь поверхности и повышают стойкость к окислению по сравнению с исходными шлифпорошками без металлизированных покрытий.

Для оценки эффективности использования износостойкости композитов на основе алмазов марки АС20 зернистости 100/80, металлизированных Ni и Cu, металлизированных композиционными покрытиями Ni-Al и Cu-Al была изготовлена серия шлифовальных кругов формы 12А2-45º на полимерной связке В2-08. Изготовленные круги использовались для шлифования образцов из твердого сплава Т15К6.

Исследования показали, что покрытие зерен практически не оказывает влияние на параметры шероховатости обработанных заготовок, но изменяет показатель износостойкости для разных покрытий, при обработке с разными производительностями шлифования.

Так, при малых производительностях обработки, и соответственно низких усилиях в зоне резания, износостойкость шлифовальных кругов коррелирует с прочностью алмазных зерен (после нанесения покрытий). Однако, при повышении производительности шлифования, показатели износостойкости начинают изменяться в зависимости от типа покрытия. Сначала, уже при производительности шлифования 100 мм^3/мин, инструмент из алмазов с медным покрытием показывает ухудшение износостойкости. Затем, при производительности шлифования 200 мм^3/мин, начинает падать износостойкость инструмента с алмазами покрытыми Ni-Al, а при производительности 400 мм^3/мин, падает износостойкость инструмента с алмазами покрытыми Cu-Al, и только инструмент из алмазов с никелевым покрытием сохраняет хорошую износостойкость, на уровне 0,02 мг/г.

Выводы

1. На основании проведенных термодесорбционных исследований установлено, что создание на поверхности алмазов марки АС20 зернистости 100/80 металлизированных композиционных покрытий Ni-Al увеличивают их удельную площадь поверхности и повышают стойкость к окислению по сравнению с исходными шлифпорошками без металлизированных покрытий.

2. Износостойкость шлифовального инструмента, из алмазов металлизированных различными композитами, зависит как от вида покрытия так и от производительности обработки. Поэтому для разных производительностей шлифования, необходимо использовать разные покрытия. Для обработки с высокой производительностью шлифования (>400 мм^3/мин), из исследованных покрытий, наиболее лучшие результаты показало покрытие зерен алмазов никелем.

Литература

1. Лавріненко В.І., Ситник Б.В., Дєвицький О.А. Дослідження зміни напруженості електростатичного поля при шліфуванні // Високі технології в машинобудуванні: Зб. Наук. Праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – С. 215–220.

2. Лавриненко В.И., Новіков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.

3. Дуда Т.М. Эффективные покрытия для порошков алмаза и КНБ, их структурные особенности и области промышленного применения // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2005. – С. 86–95.

Лойко В.А., Ивашко В.С. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

УПРОЧНЕНИЕ ТЕПЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ НАНЕСЕНИЕ Al-Fe ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Процессы нанесения защитных покрытий и методы поверхностного модифицирования нашли широкое применение в машиностроении для улучшения поверхностных характеристик ответствен-

ных деталей. Нанесение покрытий из алюминия традиционно применяется для защиты от коррозии деталей, работающих при повышенных температурах. Однако механические характеристики поверхностей не достаточно высоки.

Интерметаллиды никеля-алюминия и железа-алюминия обладают требуемым комплексом свойств. Важнейшим требованием к ним является прочная адгезионная связь защитного слоя с основой, обеспечивающая покрытию выполнение функции защиты основного металла конструкции.

Алюминиды железа благодаря их дешевизне, высокой коррозионной стойкости, износостойкости и твердости используют в автомобилестроении, как заменители нержавеющей стали при восстановлении систем выхлопа автомобилей, в качестве покрытий клапанов автомобильных двигателей, для дисков регенераторов автомобильных газотурбинных систем. Эти материалы перспективны для производства отдельных узлов и дисков газовых турбин турбокомпрессоров, работающих при температурах до 680°.

Поэтому исследование процессов формирования на поверхностях изделий из сплавов железа интерметаллидных слоев Al-Fe представляется важным и перспективным.

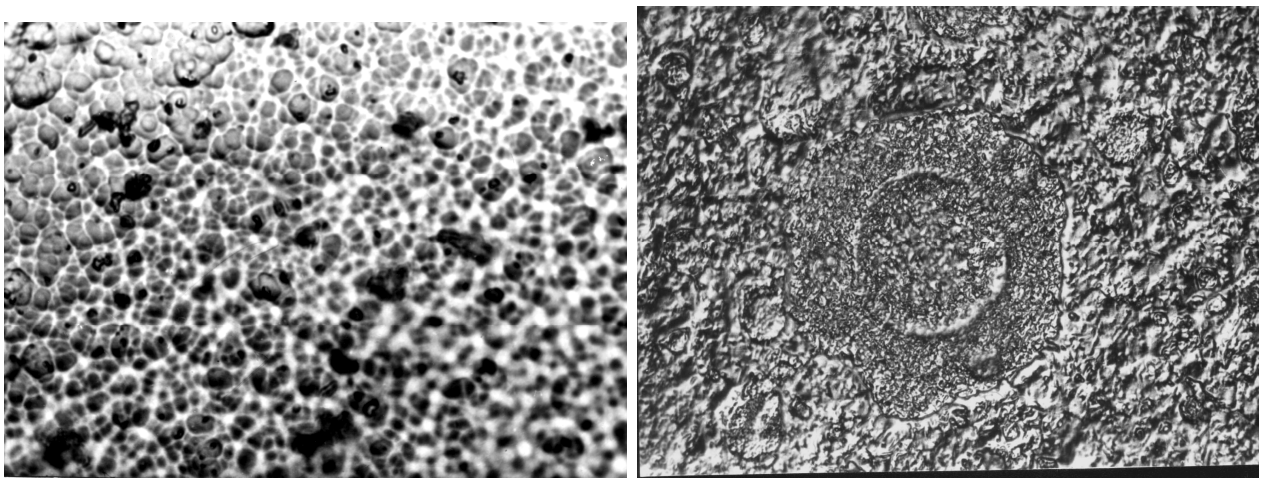
Целью работы являлось оценка возможности получения и основных характеристик интерметаллидных Al-Fe покрытий на поверхности Fe низкотемпературным плазменно-вакуумным напылением Al с последующей термической обработкой в условиях ионной бомбардировки.

Камера откачивалась до предельного вакуума 1×10^{-3} Па, затем образцы обрабатывали потоком ионов аргона из источника ионов «Радикал» (P_{Ar}= (2–5)$\times10^{-2}$ Па, U = 4 кэВ). Температура контролировалась пирометром и составляла на момент осаждения 150–200 °С.

Слой Al толщиной 10–25 мкм наносили тремя независимыми электродуговыми источниками, установленными радиально в горизонтальной плоскости к центру вакуумной камеры ($P_{ост}$ = 10^{-3} Па. $I_{дуг}$ = 40–70А, $U_{п}$ = 50–100 В). Заданная толщина слоя обеспечивалась контролем времени осаждения покрытия.

Затем к образцам с Al покрытием прикладывали отрицательный потенциал смещения 1–2,5 кВ и поверхностный слой разогревали бомбардировкой ускоренными ионами Al до температуры, при которой визуально наблюдается экзотермическая реакция синтеза интерметаллида (0,6–0,7$\cdot T_{пл.}$Al). Процесс протекал с высокой скоро-

стью, сопровождался локальным повышением температуры на 250–300 °*C*, вначале на выступающих элементах образца и неровностях поверхности в виде конденсированных макро-частиц на поверхности, что приводит к их расплавлению и существенно интенсифицирует протекание реакций между алюминием и железом с формированием слоя интерметаллида Al_x-Fe_y в осажденном слое Al и в участке образца, прилегающем к его поверхности (рис. 1).



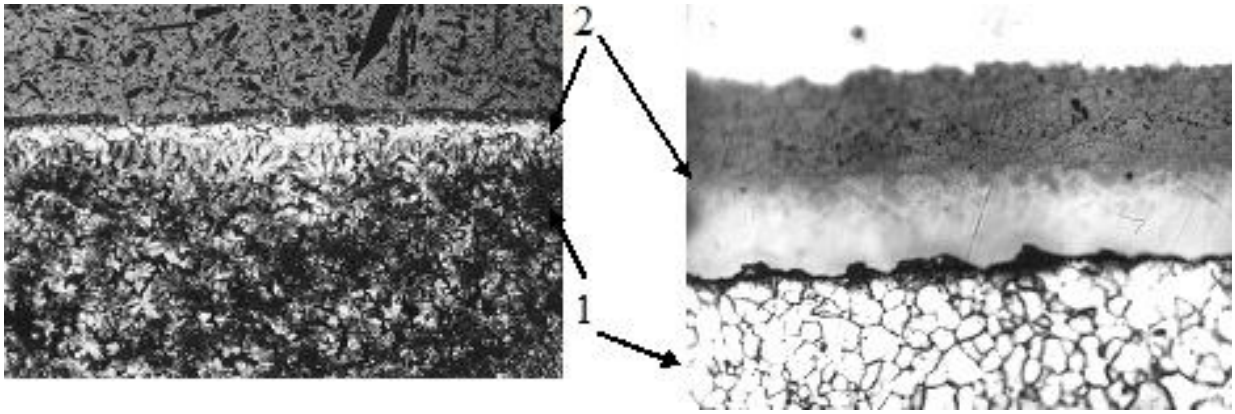
×800 ×1500

Рисунок 1 – Топография поверхности стальных образцов после нанесения алюминиевого покрытия и обработки ускоренными ионами Al

Диффузионная зона в граничной поверхности контакта покрытия и основного металла имеет характерное зернистое строение с четко очерченными утолщенными границами кристаллитов (рис. 2), очертания которых в известной степени повторяют структуру подложки. На поперечном шлифе после травления проявляются три отличающихся по травимости участка: темная перетравленная подложка, светлая виде многочисленных веерообразно расходящихся из многочисленных центров, направленных к подложке диффузионная зона, светло-серая с многочисленными белыми включениями, образующими лабиринтную структуру зона насыщения.

Размеры зерен уменьшаются с приближением к поверхности образца, а на концентрационных кривых микрозондового анализа отмечается рост концентрации Fe и уменьшение содержания Al, затем на участке 18 мкм вблизи к предполагаемой граничной поверхности, концентрации изменяются незначительно по линейному закону, что свидетельствует о постоянном химическом составе фаз на этом участке, характерном для химических соединений, в данном случае интерметаллидов Fe_x-Al_y.

При этом наблюдается формирование обширных зон диффузии по поверхности (рис. 1) и толщине слоя на поверхности и в поверхностном слое образца на железной основе (рис. 2).



×500 ×1500

Рисунок 2 – Структура переходной зоны из интерметаллидов Al_xFe_y образца Fe с Al покрытием после обработки ускоренными ионами Al:
1 – основа образца (Fe); 2 – переходной зоны из интерметаллидов Al_xFe_y

Следует отметить, что зона интерметаллидов формируется не только в слое нанесенного Al покрытии, но и в поверхностных слоях образца, достигает толщины 30 мкм. Рентгенофазовым анализом выявлен ряд аллюминидов железа от Fe_3Al до FeAl, соотношение между интенсивностями которых меняется по толщине слоя.

Формирование обширной зоны взаимодействия материалов покрытия и основы с образованием интерметаллидов связано с ионной стимуляцией процесса взаимной диффузии и ионной активацией исходных компонент реакций вследствие ионной бомбардировки поверхности ионами железа с энергией 1,5–4 кэВ. На металлографических шлифах отсутствует четкая граница между покрытием и основой, что свидетельствует о прочной металлической связи покрытия с подложкой.

Адгезионная прочность покрытия составила 1,2-2,0 ГПа. Механические свойства поверхности на первом этапе определяются толщиной слоя, содержащего интерметаллиды Fe_x-Al_y, а также соотношением Al-Fe в интерметаллиде.

Микротвердость покрытия в зависимости от соотношения атомов железа и алюминия может изменяться от 5,8 ГПа до 9,5 ГПа, соответствующей микротвердости стехиометрического интерметаллида Fe-Al.

Проведенными исследованиями установлена возможность получения интерметаллидных фаз Fe_x-Al_y при вакуумно-плазменном нанесении Al покрытий на основу Fe и последующим нагревом бомбардировкой ионами материала покрытия.

Полученные слои имеют удовлетворительные триботехнические характеристики, значительно улучшающие поверхностные свойства (твердость, адгезионную прочность и другие характеристики) и могут быть опробованы в качестве покрытий теплонагруженных деталей двигателей.

Литература

1. Лойко В.А. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве. – Мн.: УО БГАТУ, 2007. – 190 с.

Ляшенко Б.А. Інститут проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України,
Мірненко В.І., Ткач М.Я. Національний університет
оборони України ім. Івана Черняховського,
Радько О.В. Національний авіаційний
університет, Київ, Україна

ВАКУУМНЕ ГАЗОТЕРМОЦИКЛІЧНЕ ІОННО-ПЛАЗМОВЕ АЗОТУВАННЯ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

Результати дослідження великої кількості аварій з елементами бурильної колони показують, що найбільша кількість аварій пов'язана з руйнуванням замкових різьбових з'єднань бурильної колони (ЗРЗ БК). Їхнє руйнування зазвичай носить втомний характер при наявності агресивного середовища. Явища втомивиникають у результаті дії змінних навантажень, до яких відноситься змінний вигин, крутильний удар і коливання бурильної колони [1, 2].

Таким чином, збереження і підтримання в процесі експлуатації якості різьби замкового з'єднання бурильних труб є необхідною умовою забезпечення їхньої працездатності. Серед великої кількості технологічних процесів, перспективним для покращення механічних властивостей різьбових з'єднань бурильної колони є розроблена

авторами технологія імпульсного вакуумного газотермоциклічного іонно-плазмового азотування (ІВГТЦІПА) [3].

Перевагами даного технологічного процесу є поєднання подачі на вхід вакуумної установки для азотування імпульсного струму з високою напругою і періодичним чередуванням циклів насичення і розсмоктування азоту як по насичувальній здатності атмосфери, так і по температурі. При цьому, обробку (нагрівання, дифузійне насичення і охолодження) здійснюють в середовищі робочого газу при нагріванні від температури 400 до 600 ºС протягом 2–4 годин, а охолодження, безпосередньо після нагрівання, від температури 600 до 400 ºС здійснюють у плазмі тліючого розряду, після досягнення мінімального значення температури електроживлення обладнання вимикається і деталь в середовищі робочого газу охолоджуються до кімнатної температури.

Застосування ІВГТЦІПА замість цементації, нітроцементації, газового або рідинного азотування, об'ємної або СВЧ загартування дозволяє отримати цілий ряд переваг:

- значно скорочується час обробки деталі (120–300 хв);
- даний спосіб є екологічно чистим та безпечним для людини;
- насичення деталей азотом проводиться зі значною економією робочих газів та електроенергії;
- заощаджується основне обладнання та виробничі площі;
- скорочується трудомісткість виготовлення виробів через істотне зменшення обсягу шліфувальних робіт;
- підвищується якість продукції;
- просте та ефективне керування фазовим складом та будовою поверхневого шару деталей для отримання заданих механічних властивостей.

В результаті проведених досліджень на зразках зі сталі 40ХН, встановлено наступне:

- дослідження мікротвердості зміцнених ІВГТЦІПА поверхневих шарів виявили зростання її значень до 10750 МПа на поверхні і поступове зменшення до 3500 МПа (мікротвердості матриці) на глибині до 300 мкм. Значення мікротвердості в 2,5–3,0 рази більше, ніж у просто термооброблених (загартування при 870–890 °С у маслі, відпуск при 510–570 °С) зразків і в 1,5 рази більше, ніж у зразків після газового азотування;
- завдяки впливу режимів технологічного процесу на властивості зміцнених поверхневих шарів відбувається підвищення корозійної стійкості у 1,7–3,1 рази;

- зносостійкість зразків після обробки ІВГТЦІПА зростає у 1,7–2,1 рази порівняно з їх зносостійкістю після обробки за традиційною технологією;
- межа витривалості, після обробки дослідних зразків ІВГТЦІПА, зростає на 15–20%, у порівнянні з термообробленими зразками;
- у поверхневих шарах формується дифузійний шар, який складається з нітридної зони (ε- та γ′-фаз), та зони внутрішнього азотування, яка містить α-твердий розчин; загальна глибинадифузійного шару – 150–300 мкм.

Література

1. Эксплуатационная надежность и работоспособность нафтогазопромысловых и бурових машин: учебное пособие / И. Ю. Быков, Н.Д. Цхадая. – Ухта: УГТГ, 2010. – 304 с.

2. Підвищення довговічності елементів бурильної колони методом дифузійного насичення при вакуумному газотермоциклічному іонному азотуванні в імпульсному режимі / В.І. Мірненко, Б.О. Чернов, О.В. Радько, М.Я. Ткач // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и приминения: сб. науч. тр.. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2013. – С. 136–142.

3. Пат. 91096 Україна, МПК (2006.01) С23С 8/36. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей з різьбовою поверхнею іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому тліючому розряді / М.Я. Ткач, В.І. Мірненко, Б.А. Ляшенко та ін.; заявник та патентовласник Ткач Микола Ярославович.; заявл. 12.12.13 ; опубл. 25.06.14, бюл. № 12.

Макій Ю.А., Посвятенко Н.І. Національний транспортний університет, Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГУСЕНИЧНОГО РУШІЯ ВАЖКИХ КАР'ЄРНИХ МАШИН

Експлуатація важких гусеничних кар'єрних машин (екскаваторів, відвалоутворювачів, перевантажувачів великої одиничної потужності тощо) супроводжується інтенсивним зношуванням опорних котків і бігових доріжок гусеничних ланок. Тобто, цей вид від-

мов, як правило, визначає надійність машини у цілому. Основним фактором, що впливає на інтенсивність зношування опорних котків і траків гусеничних рушіїв важких кар'єрних машин є напруження в зоні контакту. Тому нами розглянуто вплив зовнішніх сил, що стискують коток і трак, а також дію їх геометричних параметрів на величину контактних напружень.

Найбільші контактні напруження з'являються на перехідних ділянках котка і трака, які виникають при повороті гусеничної машини, а не в зоні контакту ободу котка з біговою доріжкою траку. При повороті машини бокова сила $P_б$ (рис. 1) складає 0,5–1,4 вертикальної сили $P_в$ [1], і зрушує коток у напрямку внутрішньої поверхні гребеня трака.

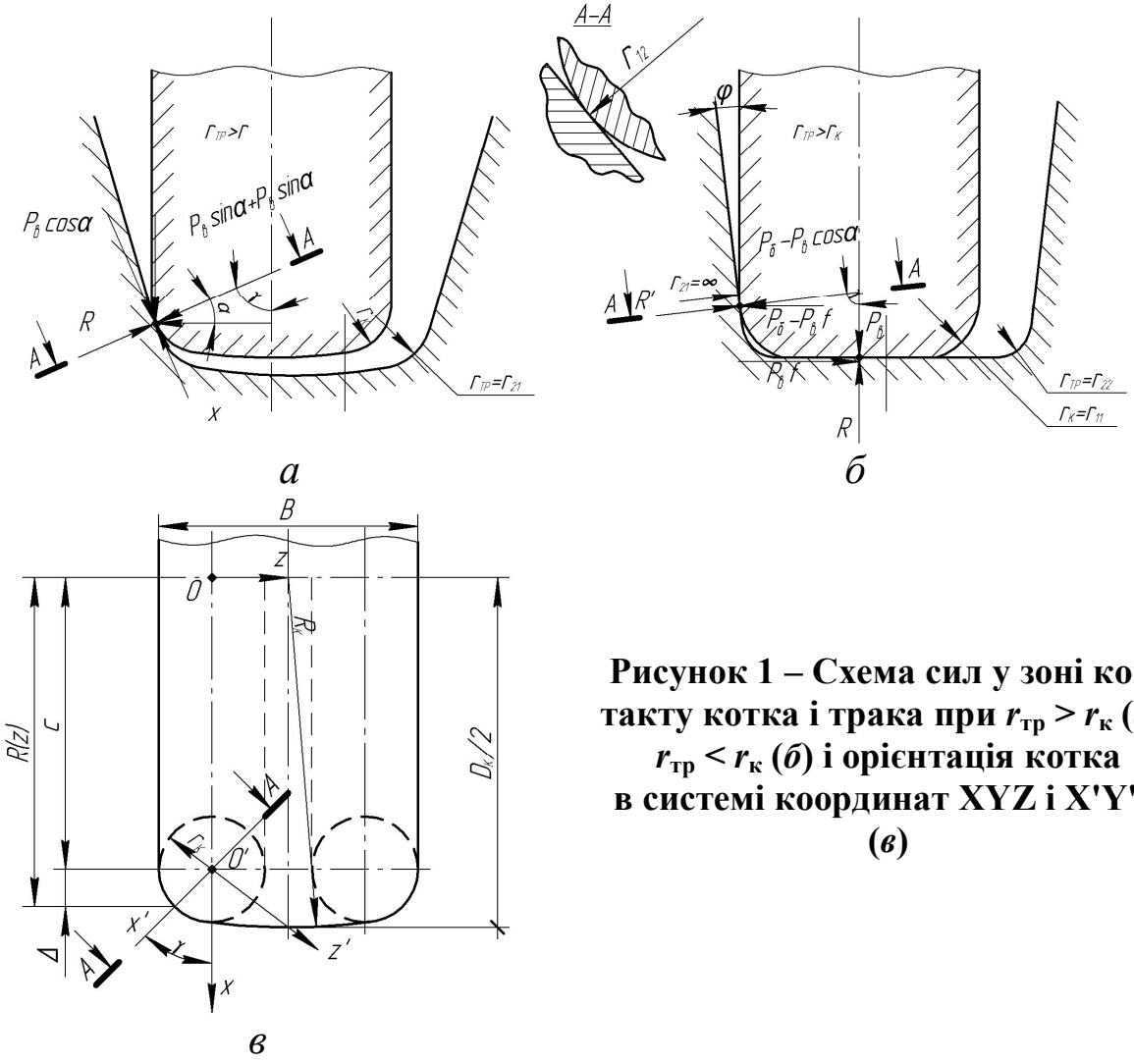


Рисунок 1 – Схема сил у зоні контакту котка і трака при $r_{тр} > r_к$ (*а*); $r_{тр} < r_к$ (*б*) і орієнтація котка в системі координат XYZ і X'Y'Z' (*в*)

При $r_{тр} > r_к$ (рис. 1, *а*) точка контакту залежить від співвідношення $m = P_б/P_в$ і напряму ковзання котка по перехідній ділянці трака. Ця точка визначається кутом α:

$\alpha = arctg\left(\frac{1+mf}{m-1}\right)$ – коток виштовхується на гребінь траку силою $P_б \sin\alpha$, де f – коефіцієнт тертя ковзання;

$\alpha = arctg\left(\frac{1-mf}{m+1}\right)$ – коток рухається до низу по перехідному радіусу при зменшенні сили $P_б$.

Стискальна сила в обох випадках при $r_{тр} > r_к$ $P = P_в \sin\alpha + P_б \cos\alpha$.

Щоб скористатися відомою формулою [2] для визначення напружень у зоні контакту двох тіл довільної геометричної форми, необхідно знати радіуси головних кривин цих тіл – r_{11}; r_{12}; r_{22}; r_{21} (див. рис. 1) В конкретній задачі невідомим є радіус кривини котка r_{12} в площині А–А, яка проходить через центр кола радіуса $r_к$ під кутом $\gamma = 90 - \alpha$. Іншими словами, щоб знайти r_{12}, достатньо розглянути переріз тора з параметрами c і $r_к$ (див. рис. 1, *в*) площиною А – А. Цей тор є складовою котка.

Рівняння тора в системі координат XYZ [3] (вісь Y перпендикулярна площині схеми) можна записати наступним чином:

$$x^2 + y^2 = R^2(z), \qquad (1)$$

де $R(Z) = c \pm \Delta = c \pm \sqrt{r_k^2 - z^2}$.

Тоді $x^2 + y^2 = c \pm \sqrt{r_k^2 - z^2}$.

Після переносу початку координат в точку O' (рис. 1, *в*) і поворот їх на кут γ, отримаємо рівняння тора в системі координат $X'Y'Z'$. При $z = 0$ рівняння тора в системі $X'Y'Z'$ перетвориться в рівняння кривої, утвореної перерізом тора площиною $X'O'Y'$ (А–А),

$$x^2 + y^2 - r^2 + 2cx \cdot \cos\gamma - 2c\sqrt{r_k^2 - x^2} \cdot \sin\gamma = 0,$$

а це не що інше, як рівняння кривої в площині головних кривин.

Із залежностей для радіуса кривини [3] при $y' = 0$; $x' = r_к$ остаточно отримаємо формулу для r_{12} у точці контакту:

$$r_{12} = r_k + \frac{c}{\cos\gamma}$$

де $c = 0{,}5D_k - R_k + \sqrt{R_k^2 - (0{,}5B - r_k)^2} - r_k$.

Таким чином, отримані усі складові, що входять у формулу для визначення контактних напружень в котках і траках.

Аналіз напружень показав, що при одноточковому контакті ($r_{тр} > r_к$) напруження менші, ніж при двоточковому ($r_{тр} < r_к$). Мінімальними будуть контактні напруження у випадку $r_{тр} = r_к$.

Оскільки траки після відливання не підлягають обробці, то можливі значні неспівпадання радіусів $r_{тр}$ і $r_к$ аж до найбільш не вигідного варіанту, коли $r_{тр} < r_к$. Тому, для гарантованого забезпечення одноточкового або лінійчатого контакту ($r_{тр} \geq r_к$) повинна задовольнятись умова

$$R_{тр.н} = r_{к.н} + \delta_{тр}, \quad (2)$$

де $\delta_{тр}$ – верхнє граничне відхилення.

Для врахування найбільш несприятливого випадку контакту, при вибраних номінальних розмірах, оцінку контактних напружень слід виконувати для максимально можливої різниці у величинах перехідних радіусів.

Таким чином, розрахункові радіуси повинні прийматися: для траку рівні найбільшому граничному розміру

$$r_{тр} = r_{тр.н} + \delta_{тр} = r_{к.н} + 2\delta_{тр}, \quad (3)$$

а для котка – найменшому граничному розміру

$$r_к = r_{к.н} - \delta_к, \quad (4)$$

де $\delta_к$ – нижнє граничне відхилення.

Література

1. Выбор оптимальных параметров опорных катков и траков тяжелых землеройных машин / А.Г. Маевский, Ю.А. Макий, В.С. Сипетов // Надежность и долговечность машин и сооружений. – К.: Наук. думка, 1989. – вып. 15. – С. 82–85.

2. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – К.: Наук. думка, 1975. – С. 600–601.

3. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1967. – 240 с.

Максимова С.В., Воронов В.В., Ковальчук П.В., Ларионов А.В. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

СТРУКТУРА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОЛИБДЕН-НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ

Разнородные соединения находят широкое применение в разных отраслях промышленности. В частности, соединения молибден-нержавеющая сталь необходимы при создании отдельных узлов

новых мощных источников энергии. При получении соединений данных материалов возникают проблемы, связанные с высокой чувствительностью тугоплавких металлов к примесям внедрения, разностью их физико-химических свойств, коэффициентов термического расширения и др.

Для получения соединений разнородных материалов молибден-нержавеющая сталь перспективно применение вакуумной пайки, которая при правильно выбранных химических композициях припойных материалов и температурно-временных параметрах позволяет сохранить структуру и целостность основного метала и обеспечивает необходимые механические свойства. Однако, из-за разности коэффициентов термического расширения (к. т. р.) могут возникать внутренние напряжения в паяных соединениях. Снизить их уровень позволяют следующие технологические приемы: применение промежуточных слоев с постоянно меняющимися к. т. р.; применение пластичных припоев; создание при пайке таких температурных полей, которые позволяют нагревать соединяемые детали до разных температур. Последнее условие выполнить достаточно сложно.

В данной работе показана возможность получения паяных соединений молибден-нержавеющая сталь с использованием припоев различных систем и разных температурно-временных параметров вакуумной высокотемпературной пайки.

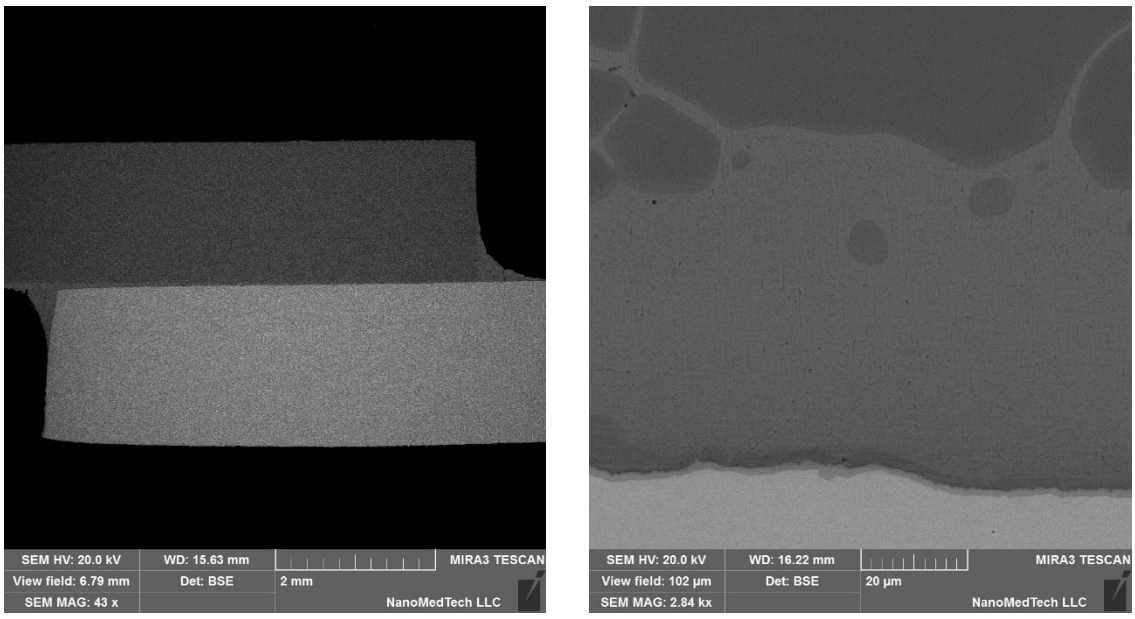
Одним из необходимых условий при выборе системы легирования припоя является обеспечение смачивания основного металла. Для пайки нержавеющей стали известно применение никелевых припоев, в которых в качестве депрессантов применяются бор и кремний [1, 2]. Такие припои хорошо смачивают нержавеющую сталь и молибден, но их недостатком является проникновение расплавленного припоя по границам зерен основного металла и образование легкоплавких эвтектических соединений (боридов и силицидов), которые отрицательно влияют на механические свойства соединений.

Более привлекательными припоями являются сплавы на основе системы медь-никель, которые в процессе кристаллизации (в исходном состоянии) характеризуются образованием непрерывного ряда твердых растворов во всем интервале концентраций [3].

Пайку плоских нахлесточных образцов проводили в вакуумной печи с радиационным нагревом, припои на основе меди использовали в виде ленты. По стандартной методике изготавливали микрошлифы паяных соединений для проведения металлографических и микрорентгеноспектральных исследований с привлечением элек-

тронного растрового микроскопа TescanMira 3 LMU, оснащенного энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-max 80 мм^2 (с программным обеспечением INCA). Локальность микрорентгеноспектральных измерений не превышала 1 мкм. Распределение химических элементов и съемку микроструктур проводили в режиме обратно - отраженных электронов (BEI), позволяющих различать структурные составляющие по атомной массе (без химического травления).

При пайке нахлесточных соединений молибден-нержавеющая сталь (Tп = 1084 °С, τ = 3 мин) формируется плотный паяный шов (рис. 1, *а*, *б*).



а *б*

Рисунок 1 – Внешний вид (*а*) и микроструктура шва паяного шва (*б*) образца нержавеющая сталь – молибден (205)

Припой хорошо смачивает обе подложки: нержавеющую сталь и молибден, образуются полные галтельные участки с двух сторон образца, дефекты отсутствуют (рис. 1, *а*).

Ширина шва составляет около 100 мкм со стороны прямой и 60 мкм со стороны обратной галтели, в некоторых участках наблюдается проникновение припоя в нержавеющую сталь на глубину до 30 мкм. Локальным микрорентгеноспектральным анализом определен химический состав паяного шва и показано, что его микроструктура представлена твердым раствором на основе системы медь-никель с незначительной концентрацией железа (до 6,86 масс.%). Припой такого же состава (твердый раствор) и проникает по границам зерен основного металла. В некоторых участках шва

наблюдаются единичные дискретные выделения фазы на основе железа (до 36,66 масс.%), обогащенной никелем (28,33 масс.%) и хромом (до 7,47 масс.%). Наблюдается увеличение количества такой фазы в зоне паяного шва, которая расположена ближе к обратной галтели.

Полученные данные микрорентгеноспектрального анализа свидетельствуют о присутствии диффузионных процессов, которые протекают в неравновесных условиях кристаллизации металла паяного шва во время пайки.

Литература

1. Rabinkin A. Brazing of superalloys and the intermetallic alloy (γ-TiAl). Advanced in brazing. Science, technology and applications. Ed. by Dusan P. Seculic. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2013. – P. 121.

2. Максимова С.В. Аморфные припои для пайки нержавеющей стали и титана и структура паяных соединений // Адгезия расплавов и пайка материалов. – 2007. – №40. – С.70–81.

3. Massalski T.B. Binary Alloy Phase Diagrams // American Society for metals. – Ohio: Metals Park: ASM International: 1990, CD.

Мамиров И.Г., Матбабаева Н.Н. Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЗАМАСЛИВАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЦЕТАТНЫХ НИТЕЙ

Ацетатное волокно является одним из крупнотоннажных готовых продуктов, производимых на многих заводах, в том числе и на АО «Ferg'anaazot».

Ацетатное волокно – малогигроскопично, мало впитывает влагу, мягкое, легкое, тонкое, упругое, блестящее, но при температуре свыше 85° теряет блеск, сильно электризуется, в мокром состоянии теряет прочность, при 140 °С разрушается, не подвержено действиям плесени, сильно осыпается, мало сминается, быстро сохнет, стойкое к свету [2].

Сырьем для получения ацетатного волокна служат остатки хлопкового пуха или облагороженной древесной целлюлозы, обработанные уксусным ангидридом и уксусной кислотой: получают рыхлые хлопья первичного ацетата (“уксус” по латыни “ацетум”, от этого произошло и название “ацетатное”) [1, 2].

Для получения вторичного ацетата первичный ацетат омыливают – добавляют определенное количество воды; полученные белые хлопья отжимают, обрабатывают в смеси ацетона и спирта, продавливают через фильеры, и при помощи теплого воздуха испаряют смесь, от чего нити затвердевают. Из этих блестящих нитей и ткут ацетатное полотно. В сочетании с другими нитями волокно используют с шелком, вискозой, шерстью и другими смесевыми тканями.

В настоящее время выпуск ацетатных волокон и нитей резко сократился из-за малой потребительской востребованности. В 60-е годы XX века использовали ткани для женских платьев, блузок, летних костюмов.

Триацетатное волокно получают из первичного ацетата путем воздействия на него химического состава.

Формование волокна происходит так же, как ацетатное, но при низких температурах, что ведет к некоторым различиям в их свойствах: отличается низкой гигроскопичностью, более высокой температурой плавления и глажения, его можно отбеливать и проще окрашивать, не нуждается в глажении, хорошо держит складки плиссе и гофре даже после стирки, что улучшает процесс эксплуатации; сильно осыпается.

Формование волокна ведется по сухому способу. Особенности этого способа заключаются в том, что при нем не происходит никаких химических процессов. Прядильный раствор продавливается через фильеру с 24–120 отверстиями диаметром 0,07–0,08 мм и в виде тонких струек попадает в шахту 2 с паровоздушной смесью при температуре 50–85 °С. Под действием температуры ацетон испаряется из струек раствора и они затвердевают, превращаясь в нити. Затем нити проходят охладительную камеру, замасливаются (для снижения их электризуемости при переработке) и наматываются на бобину, скорость формования волокон 250–600 м/мин. Нити ацетатного шелка не требуют специальной отделки, кроме крутки. Они могут быть получены в окрашенном виде, если для производства ацетатного волокна использовать окрашенную целлюлозу или если в прядильный раствор ввести соответствующие красители [3].

При производстве штапельного ацетатного волокна используют фильеры, имеющие около 200 отверстий. Скорость формования 300–350 м/мин. Полученные жгутики волокон пропускают через гофрировочный станок для придания им извитости, а затем разрезают на штапельки определенной длины.

Для облегчения процессов прядения, ткачества и вязания является операцией, которая непрерывно совершенствуется. В противоположность смачиванию замасливание относится к процессам, скорость которых поддается регулированию. Хорошие замасливатели позволяют ускорить производственные операции, а легко удаляемые замасливатели ускоряют отделку и понижают расходы на нее [3–6].

Совершенно иначе происходит замасливание волокон композициями, содержащими наряду с маслом поверхностно-активные вещества. В этом случае волокна и нити приобретают мягкость из-за образования на их поверхности ориентированного слоя молекул поверхностно-активного вещества. Эта ориентированная молекулярная пленка придает волокнам эластичность, а масла резко снижают трение. В отличие от авиважа замасливание волокон или нитей производится после сушки, например на крутильных или перемоточных машинах.

В последнее время все большее применение получает совмещенный способ увлажнения и замасливания волокна при формовании. В этом случае применяется водная эмульсия замасливателя, содержащая 11–15% препарирующих веществ.

Перемотка волокна на шпули осуществляется на бобинажных машинах, при этом осуществляют вторично замасливание волокон. Шпули затем сортируют и упаковывают.

Препараты с формулой RSO3Na обычно являются хорошими моющими средствами, но мало пригодны для замасливания волокна, так как радикал R содержит только 8–10 атомов углерода. При увеличении длины радикала R (16–18 атомов углерода) эти же препараты могут приобрести значение в качестве замасливающих или авиважных веществ в смеси с другими соединениями.

Большое влияние на условия проведения последующего процесса крутки ацетатной нити оказывают вещества, применяемые для замасливания волокна на прядильной машине. Как правило, использование водных растворов замасливателя нецелесообразно, так как при этом волокно увлажняется и на бобину наматывается мокрая нить. При кручении такой нити, прочность которой на 30–40%

ниже, чем сухой, повышается обрывность и снижается производительность крутильных машин.

Большое влияние на условия проведения последующего процесса крутки ацетатной нити оказывают вещества, применяемы, для замасливания волокна на прядильной машине.

В общий цикл отделки волокна, предназначенного для технических целей, входят следующие операции: 1) обработка волокна различными реагентами с целью удаления примесей и загрязнений; 2) замасливание волокна и обработка его специальными реагентами для облегчения последующих процессов текстильной переработки; 3) сушка волокна; 4) кручение нити; 5) перемотка крученой нити.

Кроме того, применяются сульфоэфиры высших жирных спиртов и ненасыщенных кислот. Применение минеральных масел для замасливания волокна нежелательно, так как они содержат неомыляемые компоненты, которые отрицательно влияют на процесс последующей отделки текстильных материалов.

Устойчивость волокон к истиранию может существенно изменяться в результате различных поверхностных обработок. Влияние реагентов, применяемых для авиважа и замасливания волокна, на изменение устойчивости к истиранию систематически не исследовалось, хотя, по-видимому, эти обработки могут существенно изменять устойчивость волокон и получаемых из них изделий к истиранию [7].

Формование волокна по этому способу осуществляют на прядильно-отделочном агрегате производительностью 9 т/сутки. На этом агрегате производится прядение, вытяжка, отмывка, окраска и замасливание волокна, получаемого в виде жгута.

Общепринятых методов оценки качества замасливающих препаратов и их влияния на свойства волокна не существует. Известно лишь, что физико-механические показатели (прочность, удлинение, модуль) мало изменяются после замасливания волокон.

Как было сказано выше, при формовании ацетатного волокна оно проходит через процесс замасливания для снижения их электризуемости при переработке. Для этой цели в настоящее время на АО «Ferg’anaazot» использует замасливатель марки А-1 произведенный в России закупаемый за волюту. Как показал анализ патентной литературы, известно несколько составов замасливателя, которые можно использовать при формовании ацетатного волокна. Авторы замасливателя [7] утверждают, что состав замасливателя для ацетатного волокна, состоящий из алкилфосфата, бутилстеарата, минерального масла, гидроокиси калия и эфира многоатомного

спирта, отличающийся тем, что, с целью упрощения процесса приготовления состава и повышения его стабильности, в качестве алкилфосфата использовали продукт взаимодействия пятиокиси фосфора со смесью алифатических спиртов фракции С7-С9.

Работа авторов[4] посвящена замасливателям для химических волокон, которая защищена патентом. Изобретение относится к технологии производства химических волокон, а именно, к процессам их замасливания и препарирования. С целью улучшения перерабатывающей способности волокон в качестве антистатического вещества используют п-олеил (или стеарил) аминофенил-1-окси-2 И бис (Р-оксиэтил) этиламин, а компоненты замасливателя берут в определенном процентом соотношении.

Количество компонентов в замасливателе сокращено до четырех по сравнению с шестью компонентами в известном замасливателе, что облегчает его приготовление. При этом содержание антистатического вещества в составе замасливателя составляет 2%, вместе 4% в составе известного замасливателя.

Следующая работа[5] относится к текстильной промышленности, в частности к способу обработки ацетатного волокна(или нитей ацетатного волокна.

С целью снижения электризуемости ацетатных волокон в процессе переработки и снижения обрывности нитей из данных волокон, а также сокращения брака предлагают замасливатель – А-1, в котором используются водорастворимые полимеры, содержащие 15–17 вес.% карбоксильных групп; при этом обрывность нитей ацетатного волокна снижается на 40–50%, удельное электрическое сопротивление – до 15 ом/см, а общий вырез – на 1,5%.

В качестве водорастворимых полимеров по предлагаемому способу используют сополимеры малеиновой кислоты с винилацетатом, стиролом, бутилакрилатом или бутилметакрилатом, карбоксиметилцеллюлозу, ацето-малеинат целлюлозы. Можно использовать указанные полимеры в солевой форме калия, натрия.

Обработке подвергают как волокна (на прядильной машине ПКА-240), так и нити (на осново-вязальной машине Кокетт-2).

Как выше упоминалось, АО «Ferg’anaazot» использует для формования ацетатного волокна замасливатель марки А-1(Технические условия ТУ 2484-002-05744685-2002)[14]. По физико-химическим показателям замасливатель А-1 должен соответствовать нормам и требованиям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели замасливателя А-1

Наименование показателей	Норма	Метод испытания
Внешний вид	Прозрачная однородная масляни-стая жидкость	По 5.2
Кинематическая вязкость при 20С мм^2/(сСт)	36-48	По 5.3 и ГОСТ 33
Стабильность водной эмульсии с массовой долей продукта 10%	Устойчива в течении 24-х часов	По 5.4
Водородный показатель (pH) водной эмульсии с массовой долей продукта 10%	7,0–7,5	По ГОСТ 21119.3
Цветность продукта по вне болееличине оптической плотности,	0,2	По 5.5 и ГОСТ 14871, пункт 2
Массовая доля воды,%, не более	1	По 5ю6 и ГОСТ 2477 или ГОСТ 14870, пункт 4

По литературным данным существуют различные замасливатели, в нашей работе предлагается улучшение свойств замасливателей из местного сырья и перспективы их применения в формировании ацетатного волокна.

Расширение исследований процессов получения новых видов замасливателей весьма актуальная задача, которая при дальнейших исследованиях даст положительные результаты.

Литература

1. Роговин З.А. Химия целлюлозы. – М.: Химия, 1972.

2. Гальбрайх Л.С. Целлюлоза и ее производные. – М.: Химия, 1996. – 320 с.

3. www.chem21.info/info/1004356/

4. www.ivchimprom.com/production/3

5. www.belspin.vstu.by/files/8613/7154/2787/315.pdf

6. www.chemport.ru/data/chemipedia/article_340.html

7. Роговин З.А., Гальбрайх Л.С. Химические превращения и модификация целлюлозы. – М.: Химия, 1979.

Манохин А.С., *Клименко С.А.* Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Береснев В.М. Научный физико-технологический центр МОН и НАН Украины, Харьков,
Когай Е.И. Житомирский госукдарственный технологический университет, Житомир, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ PCBN С НИТРИДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Известно, что нанесение покрытий на режущий инструмент позволяет существенно увеличить стойкость и/или производительность режущих инструментов. Вследствие большого объема проведенных исследований, на данный момент существуют научно обоснованные критерии выбора типа покрытия, которое целесообразно наносить на твердосплавный инструмент в зависимости от вида обрабатываемого материала. Обобщая, можно отметить, что для резания конструкционных сталей рекомендуются многослойные композиции (TiN-TiCN-Al_2O_3), основным рабочим слоем в которых выступает TiCN. Для труднообрабатываемых материалов в качестве стандартного решения указывается покрытие TiAlN на прочной подложке марки ВК, как обладающее повышенной стойкостью к окислению и его многочисленные модификации с добавками Si, Cr, Zr с целью дальнейшего совершенствования коррозионной и термической стойкости инструментов. В случае использования режущих пластин из PCBN анализ публикаций не выявил каких-либо типов покрытий, рекомендованных для данного типа инструмента, исходя из особенностей контактного его взаимодействия с обрабатываемым материалом. Поскольку в данном случае речь идет о труднообрабатываемых материалах с высокими механическими свойствами, то в качестве покрытия наиболее часто применяются все те же композиции на основе TiAlN. В этой связи представляет интерес экспериментальное апробирование различных типов покрытий на режущих пластинах из PCBN с целью поиска наиболее удачных и перспективных составов покрытий с точки зрения повышения стойкости инструмента.

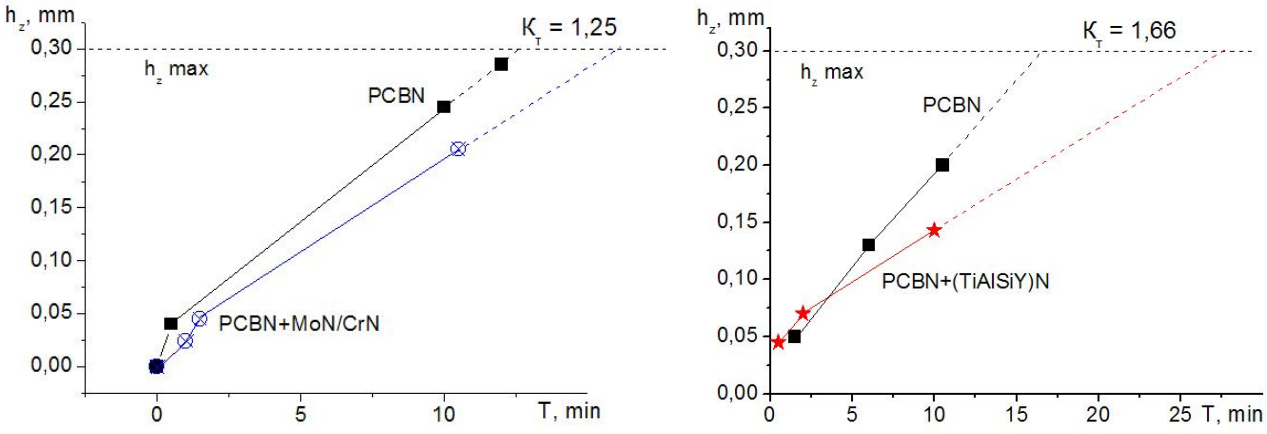
Эксперименты проводились в условиях обработки заготовок диаметром 25 мм из закаленной до 60–62 HRC стали ХВГ. Режимы резания: t = 0,015; s = 0,08; v = 75 и 85 м/мин; геометрические параметры инструмента: $\gamma = -10°$; $\alpha = 10°$; применялись режущие пла-

стины ∅7 мм без упрочняющих фасок. В данной серии экспериментов проверялись эксплуатационные свойства инструмента с двумя типами покрытий:

- многослойного, состоящего из чередующихся слоев MoN и CrN (толщина каждого слоя около 10 нм). Твердость $HV_{0,05}$ = 38 ГПа. Толщина ~ 4,8 мкм.
- гетеромодульного наноструктурного композиционного покрытия (TiAlSiY)N, представляющего собой нанофазу TiAlN в матрице Si_3N_4, легированную добавкой Y. Твердость $HV_{0,05}$ = 49,5. Толщина ~ 5 мкм.

Выбор указанных типов покрытий связан с теоретически высокой прочностью, обусловленной особенностями их структуры, затрудняющей развитие трещин в массиве покрытия, а также уже упоминавшейся высокой термостойкостью композиций, содержащих Al и Cr.

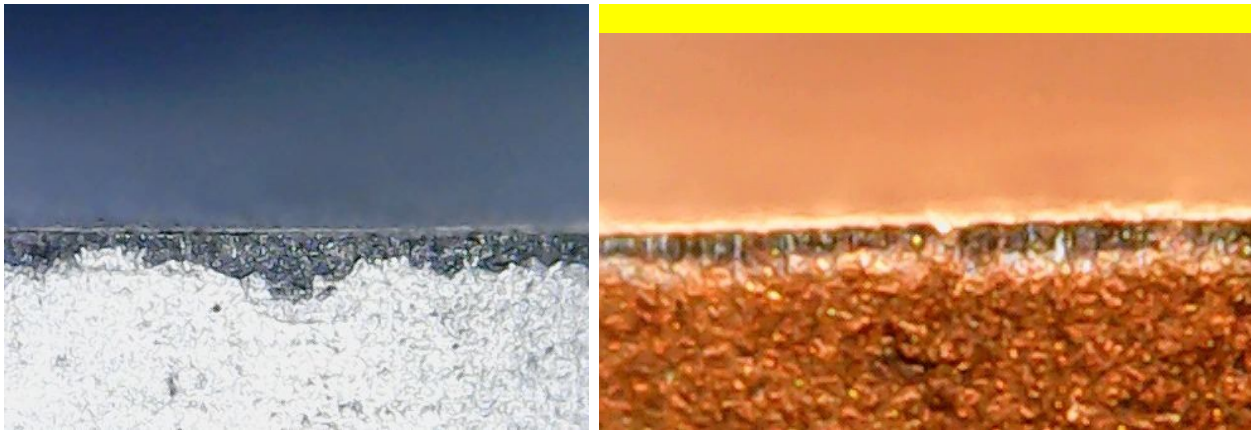
Величина износа режущего инструмента по задней поверхности измерялась в различные моменты времени так, чтобы можно было экстраполировать кривую изнашивания вплоть до критерия стойкости инструмента $h_з$ = 0,3 мм. Как видно на графиках (рис. 1), минимальный износ после 10 мин резания наблюдается у режущих пластин PCBN+(TiAlSiY)N и составляет 0,14 мм (v = 85 м/мин). Для пластины MoN/CrN величина $h_з$ при T = 10 мин равна 0,20 мм (v = 75 м/мин). Для сравнения, износ PCBN без покрытия при указанных скоростях в контрольный момент времени достигал 0,24 и 0,2 мм соответственно. На основании экстраполяции можно предположить, что коэффициент увеличения стойкости по отношению к базовому материалу PCBN «борсинит» для первого и второго типов покрытия достигнет значений 1,25 и 1,66 раза.



а *б*

Рисунок 1 – Износ инструмента с покрытием:
а – MoN/CrN (скорость резания 85 м/мин);
б – PCBN+(TiAlSiY)N (скорость резания 75 м/мин)

Характерной особенностью изнашивания инструментов с покрытием в указанных условиях резания является наличие переходной зоны между собственно фаской износа на подложке – сверхтвердом композите и поверхностью с покрытием, которая не подвергалась трению об обработанную поверхность. Она появляется вследствие когезионного разрушения покрытия и его истирания (см. рис. 2) и особенно заметна в период приработочного изнашивания резца. Следует также отметить, что когезионное разрушение, весьма характерное для MoN/CrN на втором типе покрытия наблюдается реже. Еще одной отличительной чертой кинетики изнашивания покрытий на PCBN является его разрушение, а не постепенное истирание с образованием фаски износа на подложке уже в период приработочного изнашивания (0,5–1,5 мин резания), что обусловлено высокими значениями напряжений в контактной зоне при резании труднообрабатываемых материалов.



а *б*

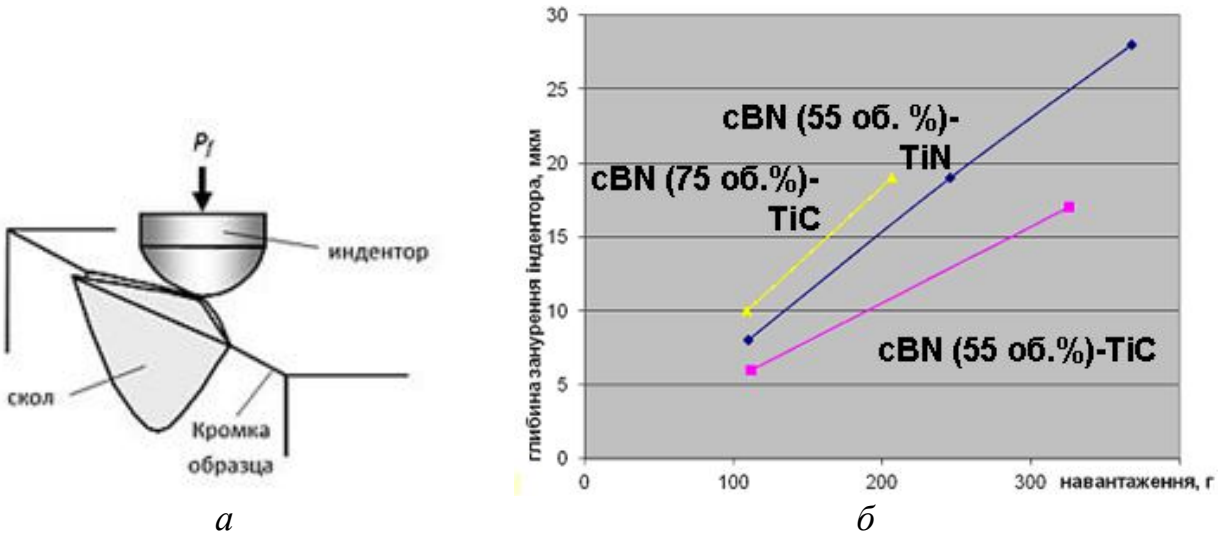
Рисунок 2 – Фаска изнашивания на задней поверхности после 1,5 мин резания: *а* – MoN/CrN; *б* – PCBN+(TiAlSiY)N

Полученныерезультаты свидетельствуют об особой перспективности исследований покрытий системы (TiAlSiY)N. При этом необходимо подчеркнуть, что в данном случае требуется дополнительная верификация экспериментальных данных с целью исключения случайных факторов, а также увеличения общего пути резания для определения реальной кинетики изнашивания без использования экстраполяции.

Манохін А.С., Клименко С.А., Чумак А.О. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСКОЛЮВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ ПНТМ НА ОСНОВІ cBN

Перспективним методом, що використовується при оцінці властивостей крихких матеріалів є FR-метод – метод мікросколювання, який забезпечує визначення опору тендітних матеріалів руйнуванню шляхом сколюванні гострої прямокутної кромки зразка за допомогою конічного стандартного індентора Роквелла (рис. 1, *а*). При цьому на кромці зразка утворюються шрами відколів, що використовуються для визначення основного експериментального параметра таких випробувань – величини відстані, на якої має місто руйнування L. Значення опору руйнування при сколюванні кромки зразка FR (fracture resistance) дорівнює відношенню величини зусилля, прикладеного до індентора і викликаючого скол кромки зразка P_f, до величини відстані, на якої має місто руйнування L. Перевагою таких механічних випробувань є простота їх виконання і обмежені витрати матеріалу, а також можливість використання прямокутних кромок виробів при їх виконанні. В даному випадку при досліджені нових модифікацій надтвердих полікристалічних композиційних матеріалів (композити на основі кубічного нітриду бору cBN групи BL) було застосовано модифікований FR-метод при якому визначалася величина сили сколювання та глибина занурення індентора при якому відбувалось сколювання на різних відстанях від кромки зразка. Результати вимірювань наведено на діаграмі на рис. 1, *б*.



а *б*

Рисунок 1 – Схема проведення досліду (*а*), результати вимірювань (*б*)

Представлені на рис. 1, *б* діаграми руйнування досліджуваних крихких матеріалів демонструють особливості їх механічного поведінки в умовах локального пошкодження мікрооб`ємів крайок зразків. При визначенні відношення нормального навантаження на індентор до глибини занурення індентора при сколюванні (рис. 2) було встановлено, що максимальне значення параметру F_R притаманне зразку cBN(55 об.%)-TiC, а мінімальне – cBN(75 об.%)-TiC.

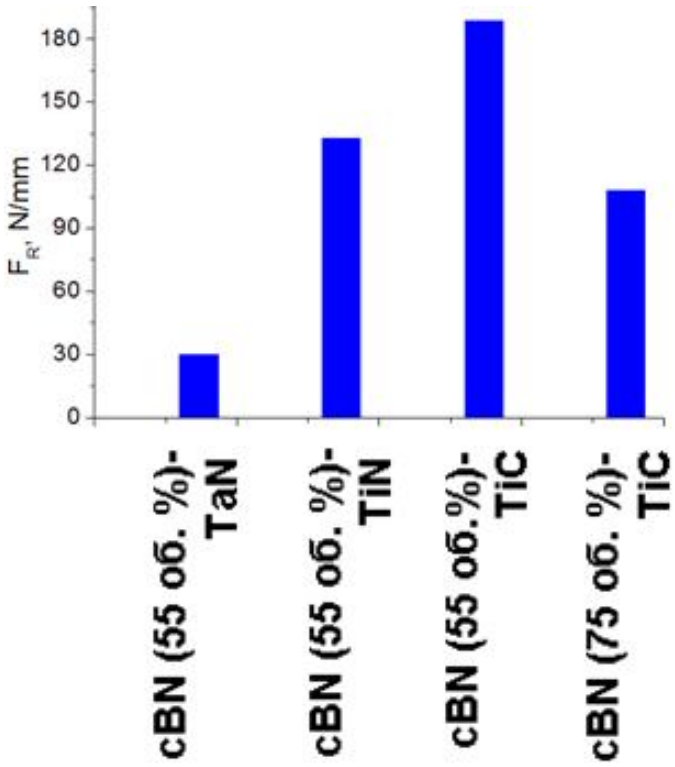


Рисунок 2 – Відношення нормального навантаження на індентор до глибини занурення індентора при сколюванні

Для лінійно-пружних матеріалів спостерігається прямо пропорційна залежність F_R від K_{1c} На відміну від них, для керамічних матеріалів, в руйнуванні яких значну роль відіграють процеси пластичної деформації, K_{1c} в загальному випадку залежить від F_R не лінійно, хоча кореляція між вказаними параметрами зберігається. Таким чином, можна вважати F_R комплексним показником, який доповнює таку характеристику матеріалу, як критичний коефіцієнт концентрації напружень K_{1c} та, вочевидь, міцністні характеристики матеріалу. Отже, згідно даних діаграм на рис. 1 і 2, композит cBN(55 об.%)-TiC характеризується максимальною міцністю та тріщиностійкістю серед досліджуваних полікристалічних надтвердих матеріалів, що обумовлює його перспективність при використанні у різальному інструменті при обробці виробів з важкооброблюваних матеріалів.

Мельник В.Б., Кіндрачук М.В., Нечипорук В.В.,
Пузік С.О. Національний авіаційний університет, Київ, Україна

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ГРАНИЧНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ШАРІВ У ЛОКАЛЬНОМУ КОНТАКТІ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Сучасні вимоги до надійності та довговічності трибосистем пов`язані з якісним поліпшенням змащувальних матеріалів, їх складових і обумовлені поглибленим аналізом стану змащувального середовища та контактної поверхні металу в процесі тертя. Разом з такими загальноприйнятими поняттями, як матеріали контактних поверхонь, хіміко-термічною обробкою, швидкісним, навантажувальним та температурним режимами мастильні матеріали розглядаються як конструкційний елемент трибомеханічної системи. У сучасній літературі, на жаль, відсутня єдина точка зору щодо характеру змащувальної дії, що, ймовірно, пов`язано з відсутністю загальної теорії змащення, яка б характеризувала всі існуючі режими змащення – від граничного до гідродинамічного, з урахуванням багаточисельних перехідних зон, структури змащувального шару, його реологічних характеристик. Усі перераховані чинники істотно впливають на антифрикційні та протизношувальні властивості пар тертя.

Одним з найбільш ефективних та економічних засобів підвищення рівня змащувальної дії є легування мастильних матеріалів присадками. За механізмом впливу на поверхні тертя присадки прийнято розділяти на адсорбційні(поверхнево-активні речовини (ПАР) і хімічно активні(ХАР). Відповідно до наведених у [1] узагальнених залежностей коефіцієнта тертя від температури (рис. 1) останній, при граничному терті, має помірні значення до деякої критичної температури T_k, що обумовлено дією присадки першого типу. При подальшому підвищенні температури коефіцієнт тертя значно зростає і може призвести до схоплювання. При досягненні температури $T_{k,m}$ коефіцієнт тертя знову знижується до помірних значень, що пояснюється дією присадок другого типу, які утворюють на поверхнях тертя модифіковані прошарки. Різниця $T_k - T_{k,m}$ складає 90–100 °С і припадає на температури при яких працюють, наприклад, багато зубчатих передач. Таким чином, в діапазоні від T_k до $T_{k,m}$ відбувається різке погіршення змащувальної дії, збільшується зношування і може відбутися схоплювання.

Погіршення змащувальної дії при цих температурах підтверджується вимірюванням товщини змащувального шару – його товщина зменшується, а в деяких випадках аж до повного руйнування [3, 4]. Слід зазначити, що при роботі з температурою дещо нижчою T_k більш тривалий час, змащувальний шар руйнується внаслідок десорбції і, як наслідок, діапазон небезпечних температур розширюється. Вочевидь, ліквідація описаного небезпечного погіршення повинна сприяти підвищенню надійності і довговічності трибосполучень.

T_k розглядають як температуру руйнування і фізично адсорбованих і хемосорбованих граничних шарів. Але, як дослідження адсорбції на твердих поверхнях пар тертя [2] так і дослідження змащувальної дії в локальному контакті шляхом вимірювання товщини змащувального шару [3, 4] свідчать про те, що хемосорбовані плівки стійкі до значних температур – більше 200 °С, тобто можуть протидіяти описаному погіршенню (рис. 1).

Таким чином, в діапазоні температур від T_k до $T_{k,m}$ ефективну змащувальну дію можна забезпечити хемосорбційними процесами, наслідком яких є утворення самогенеруючихся органічних плівок (СОП). Ефективність СОП, що утворюються нелегованими маслами, визначаються їх вуглеводневим складом – про це свідчать експерименти з індивідуальними вуглеводнями [4] і наявністю в маслі ПАР та деяких інших речовин. Різний склад масел в першу чергу приводить до різної ефективності хемосорбованих СОП. Так, наприклад, присадка ОТП блокує утворення СОП. Тому для багатьох масел необхідне покращення процесів хемосорбції в діапазоні температур $T_k – T_{k,m}$.

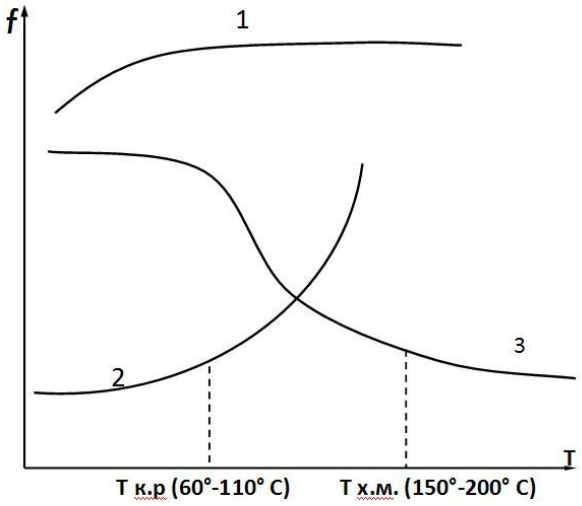


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту тертя від температури:
1 –неполярне масло; 2 – масло з поверхнево-активною речовиною (ПАР); 3 – масло з хімічно-активною речовиною (ХАР)

Із наведених результатів випливає, що ефективність протизносної дії присадок не є однозначним поняттям і суттєво залежить від умов тертя і режиму змащування. Так, стосовно екстремальних умов тертя, що характеризуються високим тиском в контакті і шви-

дкостями ковзання, перевага має бути на боці сполук в механізмі дії яких домінує хімічний фактор. При помірному режимі тертя доцільно використовувати присадки, що володіють високою здатністю адсорбуватися і помірною реакційною здатністю.

Таким чином, в широкому діапазоні температур (60–200 °С) використання традиційних присадок ПАР та ХАР малоефективно, в зв'язку з чим є доцільним дослідити механізм змащувальної дії присадок принципово нового типу – карбонофторидів $(CFx)_n$, які мають у своєму складі сполуки фтору та вуглецю, та здатні, поряд з високою адсорбційною активністю та хімічною реакційністю формувати на поверхні тертя хемосорбційні плівки, які мають високі протизносні та антифрикційні властивості.

Результати дослідження змащувальної дії карбонофторидних (КФ) присадок показують, що присадки є ефективними і при помірних режимах тертя (припрацювання, обкатка, усталений режим) [5], так і при екстремальних (пуск-зупинка, підвищена температура, високий тиск контакту) [6], що свідчить про їх широку функціональність і підтверджує високу адсорбційну властивість і хімічну активність.

Література

1. Матвеевский Р.М. Температурная стойкость граничных смазочных слоёв и твёрдых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. – М.: Наука, 1971. – 164 с.

2. Мориссон С. Химическая физика поверхности твёрдого тела. – М.: Мир, 1980. – 488 с.

3. Кадомский В.П. Исследование смазочных слоёв и твёрдопластичных плёнок, образующихся в контакте деталей при качении со скольжением: дис... канд. техн. наук. – К., 1971. – 140 с.

4. Стадник В.А. Смазочное действие самогенерирующихся органических плёнок, образованных индивидуальными углеводородами в условиях трения качения со скольжением: дис...канд. техн. наук. – К., 1984. – 242 с.

5. Вплив карбонофторидних присадок на показники якості змащувальної дії мастильних матеріалів в процесі припрацювання зубчатих передач / В.Б. Мельник, Ю.С. Леусенко / Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2013, – вип. 1(60). – С. 74–77.

6. Смазочное действие масел с карбонофторидными присадками при нестационарных режимах трения / В.Б. Мельник, Р.Г. Мнацаканов, В.П. Федына / Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2007 – вип.47. – С. 250–267.

Мокош Л., Старзицзны П. Испытательная
лаборатория VVUU, a.s. Острава-Радванице, Чехия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ (EX)

Для многих видов современных материалов данные по безопасности можно легко найти в специализированной литературе, либо в базах данных в Интернете и т.д., однако данные значения носят скорее информативный характер.

Самым надежным способом получения наиболее точной информации о взрывоопасности и пожароопасности применяемого материала является экспериментальная проверка с последующим описанием проведенных испытаний при помощи пожарно-технических характеристик (ПТХ) в соответствии с определенными Постановлениями, действующими стандартами или собственными аккредитованными процедурами проведения испытаний. Проверка свойств веществ в аккредитованной лаборатории, как правило, необходимо и в иных случаях, когда параметры безопасности не известны (новые химические продукты, суспензии и т.д.).

ПТХ, за исключением некоторых, не являются постоянными физическими величинами, но величинами, которые во многом зависят от качества материала, методов проведения испытаний и условий тестирования. Отдельные технические параметры безопасности необходимы пользователю, с точки зрения технологического процесса (напр., теплотворная способность), с точки зрения безопасности (напр., взрывчатость, воспламенение и возгорание), а так же для оценки рисков, связанных с использованием данных видов современных электротехнических материалов.

В зависимости от результатов тестов, как можно точнее достигается цель проведения испытаний – предложение соответствующих мер по защите от возникновения возгорания и взрыва, соответственно, и от последствий, которые могут вызвать данные явления:

- температура возгорания – определяется самая низкая или самая высокая температура окружающей среды, при которой происходит самопроизвольное воспламенение при отсутствии внешнего источника воспламенения;
- температура воспламенения позволяет оценить возможность классификации взрывобезопасного в зонах ex по классам теплостойкости;

• температура тления осажденного слоя пыли позволяет сопоставление классу теплостойкости в зонах ex во взрывобезопасном исполнении в среде с опасностью возникновения взрывоопасности материала;

• температура вспышки слоя пыли позволяет определить минимальную температуру горячей поверхности, при которой, если произойдет приближение пламени, произойдет вспышка.

• параметры возгорания: индекс возгорания pmax – это максимальное давление для высокой концентрации взаимодействующих фракций, индекс возгорания (dp/dt)max – это отношение максимальной скорости нарастания давления ко времени, определяемое экспериментальным путем. Значения индексов возгорания (параметров взрыва) необходимы для квалифицированного расчета и разработки проекта для элементов по защите от врзгорания (мембран, клапанов);

• предельное содержание кислорода – параметр для защиты производственного оборудования и технологических процессов от опасности возникновения взрыва с использованием инертного газа (N_2, CO_2 и т. д.);

• минимальная энергия инициирования emin – это энергия искры, достаточная для воспламенения защитных материалов. На практике данное значение в основном используется для защиты устройств от электростатических разрядов.

• определение склонности к самовоспламенению – показывает склонность порошковых материалов к самовоспламенению при хранении, определение времени индукции, когда порошкообразная масса при определенных условиях способна к самовоспламенению. Классификация материалов в соответствии с правилами по международной перевозке МПОГ/ДОПОГ (RID/ADR). Можно сказать, что свойствами горючести обладает практически любое вещество в порошкообразном состоянии, помимо чисто неорганических веществ, например, доломита, известняка и других оксидов и солей металлов.

Для образования взрывчатой смеси горючей пыли с воздухом должно быть достаточное количество пылевых фракций. Концентрация, при которой возникает опасность взрыва, называется нижним пределом взрывчатости и определяется в граммах взвешенной пыли в данном объеме ($г \cdot см^{-3}$).

В замкнутом пространстве (оборудовании), независимо от объема данного пространства, взрывоопасным считается объем в 10 л взрывоопасной смеси. В пространстве менее 100 $м^3$ взрывоопасным счита-

ется смесь в количестве одной десятитысячной (0,0001) объема пространства (всего несколько литров). При этом пространством с опасностью возникновения взрыва считается не весь объем, а лишь та часть пространства, в которой может образоваться взрывчатая смесь.

В настоящее время появляются новые подходы (методы) по защите от возгорания и взрыва, которые не основываются на точных научно обоснованных сведениях, таким образом, в значительной степени могут способствовать созданию ложных обоснований, которые могут послужить причиной возникновения крупных аварий на промышленных объектах.

Данная ситуация возникает в результате отличающихся подходов к вопросам безопасности во всем мире. При последующей установке недостаточно оснащенных элементов защитных устройств на технологическое оборудование существует реальная опасность возгорания со всеми вытекающими последствиями.

Найденко А.Г., Манохін А.С. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
Закієв І.М. Національний авіаційний університет,
Київ, Україна

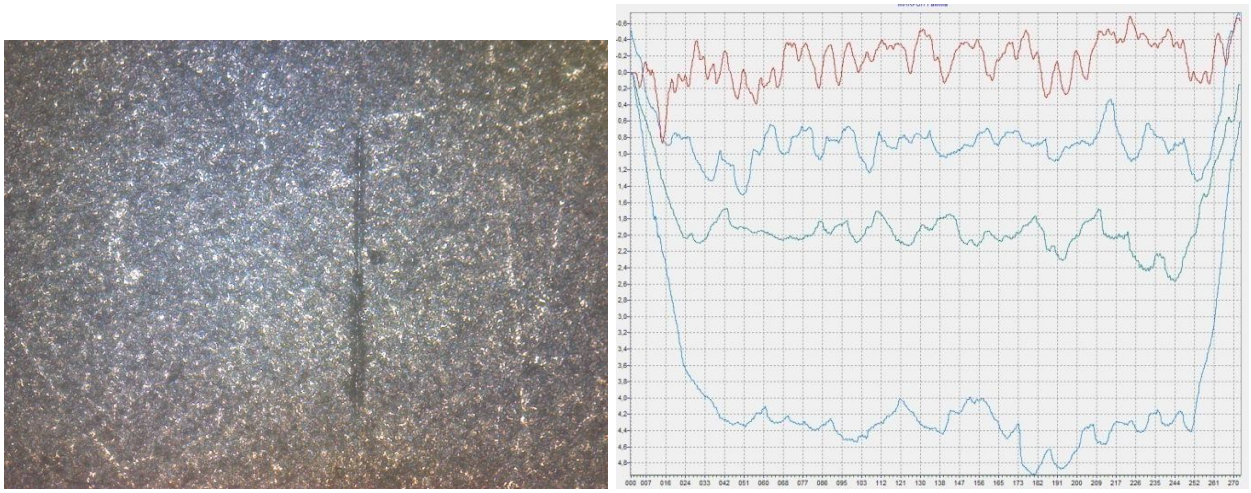
ОЦІНКА СТАТИСТИЧНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СКЛЕРОМЕТРУВАННЯ ТА FR-МЕТОДУ

Для оцінки механічних характеристик матеріалу поверхневого шару ефективним методом є застосування склерометрування (Scratch Test), при якому досліджувана поверхня сканується навантаженим індентором. Шляхом вибору нормального навантаження P на індентор та розміру області, що деформується на поверхні досліджуваного зразка, можуть бути відтворені умови контактного навантаження на інструмент в зоні різання.

В роботі з метою оцінки впливу термобаричного навантаження в зоні різання на фізико-механічні властивості поверхневого шару інструментальних композитів проводилося склерометрування експериментальних зразків надтвердих інструментальних матеріалів. Для вимірювань використовувався прилад «Мікрон-гамма», розроб-

лений в Національному авіаційному університеті. Даний мікроіндентометр має широкі діапазони заданих зусиль (від 0,01 до 10 Н) і реєстрованої глибини індентування (від 10 нм до 200 мкм).

Сканування чотирьох зразків композіційних матеріалів (№ 21, 22, 24 та 27) проводилося по передній поверхні інструменту в радіальному напрямі від центру різальних пластин в напрямі різальної кромки. Навантаження на індентор було 30, 50 та 100 сН, довжина траси сканування складала 270 мкм, швидкість сканування 22 мкм/с. На прикладі зразка № 21 наведено зображення траси сканування та залежність глибини занурення індентора від координати *X* та навантаження (рис. 1).



а *б*

Рисунок 1 – Сканування зразка № 21: *а* – траса сканування; *б* – залежність глибини занурення індентора від координати *X* та навантаження

Були отримані залежності величини тангенційної складової спротиву матеріалу зразків руйнуванню – сили тертя-мікрорізання (F_τ, сН) при повздовжньому переміщенні індентора (мкм). Ділянки входу та виходу індентора відсікали та враховували тренд нахилу діаграм. Величина сила тертя-мікрорізання для зразка № 21 значно нижча відносно інших зразків, що свідчить про те, що за сукупністю механічних властивостей цей зразок значно (на 14%) поступається іншим типам композитів.

Характеристики сили тертя-мікрорізання надають можливість визначити, що найбільшою однорідністю характеризуються зразок № 27. Користуючись результатами розрахунків побудували діаграму ранжування зразків за параметром середньо-квадратичного відхилення сили тертя-мікрорізання при скануванні зразків з нормальним навантаженням 30 сН (рис. 2).

Методом склерометрування встановлено, що за сукупністю механічних властивостей найкращим є матеріал, який відповідає зразку № 24. Однорідність механічних властивостей даного матеріалу, визначена за величиною СКО сили тертя-мікрорізання, незначним чином поступається зразку № 27 і значно перевищую властивості матеріалу зразка № 21.

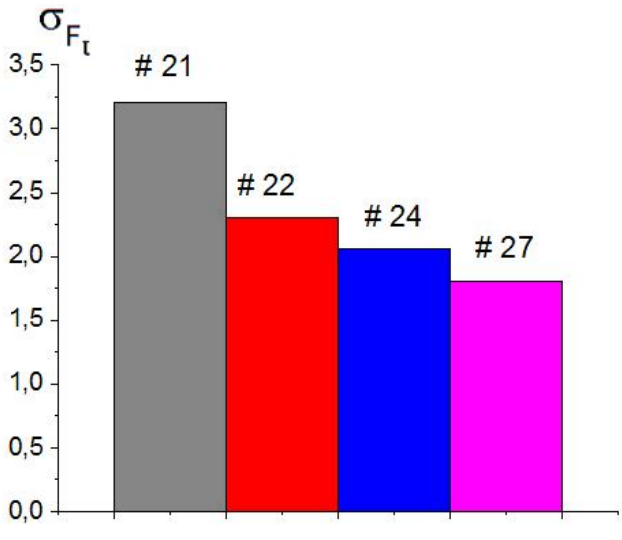


Рисунок 2 – Величина СКО значень сили тертя при скануванні зразків

Овчинников В.С., Сивцев Н.С., Лукин Е.В., Шубина М.И. Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Повышение точности измерения деталей машин, способствует достижению технико-экономических требований к изделиям, а использование контактных датчиков измерения фирмы Renishaw значительно снижает трудоемкость получения заключения о годности детали. Датчики касания Renishaw позволяют быстро и с высокой повторяемостью выполнять измерения с высокой точностью.

Контактные датчики с прямыми щупами относятся к числу самых простых и наиболее часто используемых. В процессе их калибровки шар щупа касается поверхности калибровки и ЧПУ «запоминает» положение точки калибровки (рис. 1, *а*).

Измерение плоских поверхностей деталей машин с применением контактных датчиков с прямыми щупами не вызывает особых проблем. Однако в случаях измерения профиля криволинейных поверхностей, в частности, торцевого профиля винтовых поверхностей червяков червячных редукторов, роторов компрессоров, роторов винтовых забойных двигателей и пр. появляется погрешность Δ

(рис. 1, *б*). Она возникает вследствие неперпендикулярности вектора направления перемещения щупа к касательной к профилю криволинейной поверхности в измеряемой точке и несовпадения точки контакта и точки калибровки.

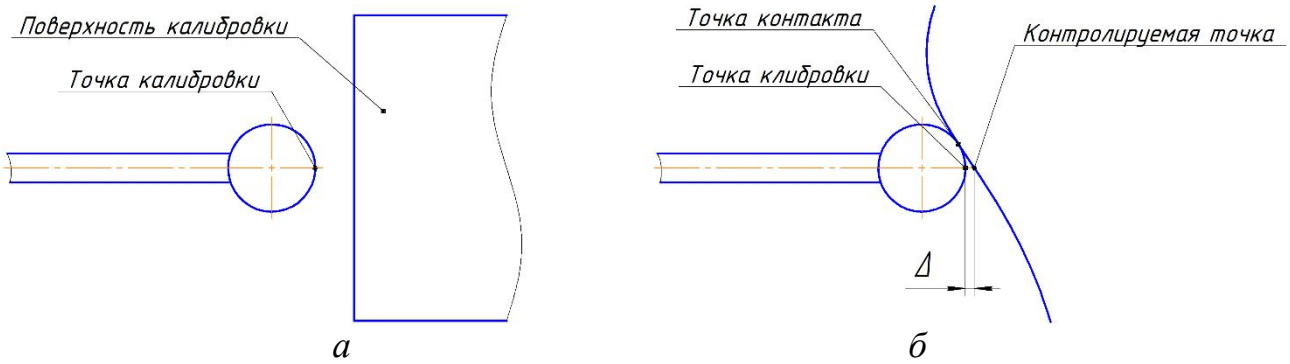


Рисунок 1 – Схемы калибровки щупа (*а*) и измерения профиля криволинейной поверхности (*б*)

Устранить погрешность возможно при повороте щупа на угол, при котором обеспечивается его нормальное сближение с касательной к профилю в каждой измеряемой точке. Однако реализовать указанную процедуру возможно либо на дорогостоящих 5-ти осевых станках с ЧПУ во время изготовления деталей, либо на координатно-измерительных машинах при измерениях вне станка.

В предлагаемом способе измерение торцевого профиля винтовых поверхностей производится на 2-х координатном токарном станке с ЧПУ при базировании детали в центрах и при жесткой фиксации датчика на суппорте станка перпендикулярно к оси детали. Расчет возникающей погрешности Δ производится аналитическим методом.

На основании математической модели профиля винтовой поверхности, производится расчет координат точек профиля на шаге φ в прямоугольной, либо полярной системе и далее выявляется точка A_i профиля, в которой погрешность Δ отсутствует, а измеренное значение ее координаты $Y_{i\text{изм.}}$ соответствует фактическому значению $Y_{i\text{факт.}}$ (рис. 2).

На следующем этапе производится поворот детали на угол φ и измерение в точке A_{i+1} (рис. 3). Система координат при этом поворачивается вместе с деталью.

Из схемы контакта шара щупа с криволинейной поверхностью после поворота детали на угол φ, следует:

$$\Delta = \frac{r}{\sin\alpha} - r, \qquad (1)$$

где r – радиус шара; α – угол наклона отрезка A_iA_{i+1}, аппроксимирующего участок кривой на шаге φ.

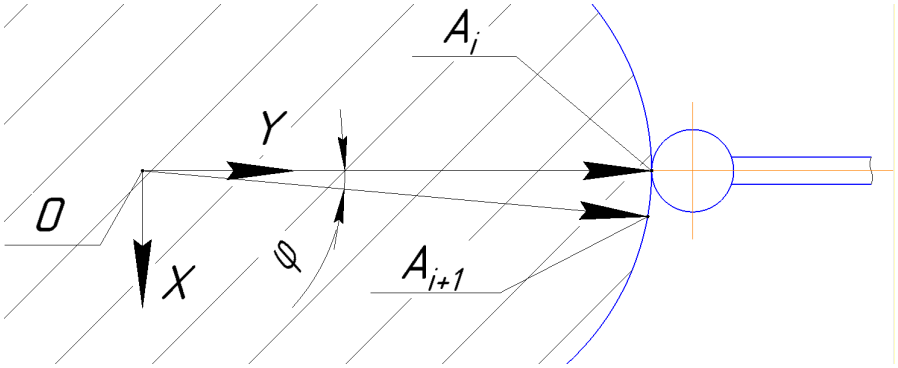


Рисунок 2 – Контакт шара щупа при нормальном сближении с касательной в измеряемой точке A_i профиля

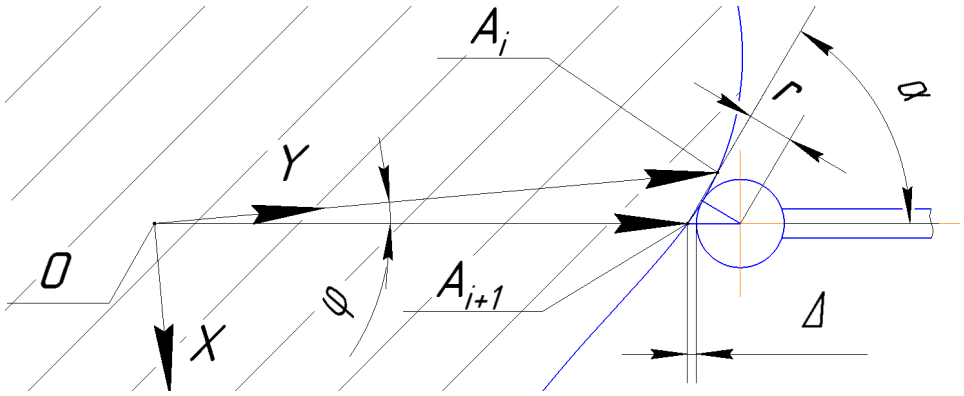


Рисунок 3 – Схема к расчету погрешности Δ

После поворота на угол φ значение длины вектора $\vec{OA}_i$ остается прежним $\left(\vec{OA}_i = Y_{i\text{факт.}}\right)$, а координаты точки A_i и A_{i+1} в начальной системе координат станут равны: $A_i\left(Y_{i\text{факт.}} \cdot \cos\varphi; Y_{i\text{факт.}} \cdot \sin\varphi\right)$, $A_{i+1}\left(\sqrt{X^2_{i+1\text{расч.}} + Y^2_{i=1\text{расч.}}}; 0\right)$, здесь $\sqrt{X^2_{i+1\text{расч.}} + Y^2_{i+1\text{расч.}}}$ – расчетное значение вектора $\vec{OA}_{i+1\text{расч.}}$.

Имея эти координаты, для угла α получим:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{Y_{i\text{факт.}} \cdot \sin\varphi}{Y_{i\text{факт.}} \cdot \cos\varphi - \sqrt{X^2_{i+1\text{расч.}} + Y^2_{i+1\text{расч.}}}}, \qquad (2)$$

После подстановки (2) в (1) в окончательном виде записывается:

$$\Delta = \frac{r}{\sin\left(\operatorname{arctg}\dfrac{Y_{i\text{факт.}} \cdot \sin\varphi}{Y_{i\text{факт.}} \cdot \cos\varphi - \sqrt{X^2_{i+1\text{расч.}} + Y^2_{i+1\text{расч.}}}}\right)} - r. \qquad (3)$$

С учетом рассчитанной погрешности Δ определяется новое значение длины вектора $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}'_{i+1\text{расч.}}$.

$$\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}'_{i+1\text{расч.}} = \mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}_{i+1\text{расч.}} + \Delta . \quad (4)$$

Расчетное значение длины вектора $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}_{i+1\text{расч.}}$ совпадает с фактическим значением радиуса торцевого профиля винтовой поверхности в точке A_{i+1} при выполнении равенства:

$$\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}'_{i+1\text{расч.}} = Y_{i+1\text{изм.}} . \quad (5)$$

В противном случае, если $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}'_{i+1\text{расч.}} \neq Y_{i+1\text{изм.}}$ значение длины вектора $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}_{i+1\text{расч.}}$ либо увеличивают, либо уменьшают. Повторяя вычисления по формулам (2–(4) при новых значениях $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}_{i+1}$ методом последовательного приближения добиваются выполнения равенства (5). При выполнении равенства (5) последнее значение $\mathrm{O}\vec{\mathrm{A}}_{i+1}$ и является фактическим значением радиуса торцевого профиля винтовой поверхности в точке A_{i+1}.

Расчеты по предложенному алгоритму производятся после каждого поворота детали на угол φ и измерения в каждой расчетной точке торцевого профиля винтовой поверхности.

Огульчанская Н.Р. Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ШЛИФОВАНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПРИЖОГОВ В РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЯХ

С ростом интенсивности перевозок растут и факторы, действующие на рельсовый путь и подвижной состав. На поверхности катания головки рельса происходят сложные взаимосвязанные процессы, вызванные пластическими деформациями. Большие динамические воздействия колеса на рельс создают благоприятные условия образования и развития волнообразного износа рельсов. Наличие неровностей циклического характера наносит большой урон как рельсовому пути так и подвижному составу.

Учитывая то, что на место снятых рельсов, пораженных волнообразным износом, необходимо уложить новые, становится ясным и

понятным на сколько важно и необходимо проводить оздоровление рельсов в путем шлифования.

Качественное эффективное шлифование снижает остаточные напряжения растяжения в головке рельсов. Это дает возможность избавиться от волнистости поверхности катания головки рельса. А это значительно снижает динамические воздействия на рельс, частично или полностью исчезает наклеп, микротрещины, повышается контактно-усталостная прочность рельса.

Применяемые на сети железных дорог рельсошлифовальные поезда дают возможность проводить шлифовальные работы в пути. Но они не в полной мере удовлетворяют потребности современных условий эксплуатации железных дорог.

Целью исследований стала разработка нового способа устранения дефектов возникающих на поверхности катания головки рельса и создание конструкции рельсошлифовального рабочего органа, который мог бы быстро и качественно удалять возникающие дефекты.

Главная задача состояла в выборе и обосновании способа шлифования и конструкционной разработки, позволяющей производить достаточно высокий уровень съема метала при большой продольной скорости рельсошлифовального поезда на перегоне. В задачу входили вопросы, надежности и безопасности, применение дистанционного управления, а также создания профиля головки рельса приближенной к нормам нового рельса.

На основании рассмотренных методов шлифования рельсов в пути были проведены лабораторные исследования, моделирование режимов работы ленты-цепи рельсошлифовального рабочего органа активного действия с закрепленными на ней прямоугольными абразивными брусками (модель).

Режимы шлифования имеют большое значение для обработки рельсовой стали. Одним из параметров влияющих на процесс шлифования рельсов в пути является скоростной фактор. Он определяется двумя составляющими: скоростью шлифовального инструмента и скоростью обрабатываемого материала. При взаимодействии этих двух скоростей, между контактирующими поверхностями происходят различные процессы, способствующим повышению эффективности шлифования или ухудшающим этот процесс.

Влияние скоростного фактора на процесс шлифования очень важен и его изучение дает возможность выяснить режимы работы абразивных инструментов. Применение плоского шлифования прямоугольными брусками прижатыми к поверхности головки рельсов,

особо тяжелый режим работы абразивного инструмента. Проведенные исследования шлифования рельсовой стали, на специальном стенде, дали яркую картину эффективности шлифования с разными скоростями перемещения обрабатываемого материала плоскими абразивными брусками. На рис. 1 показаны кривые съема металла плоскими прямоугольными брусками при различных режимах работы брусков. Самым низким съемом металла обладают абразивные инструменты (кривая 1), которые не имеют очистки отработанных материалов из зоны резания. В этих условиях работы абразивного инструмента самая низкая производительность шлифования.

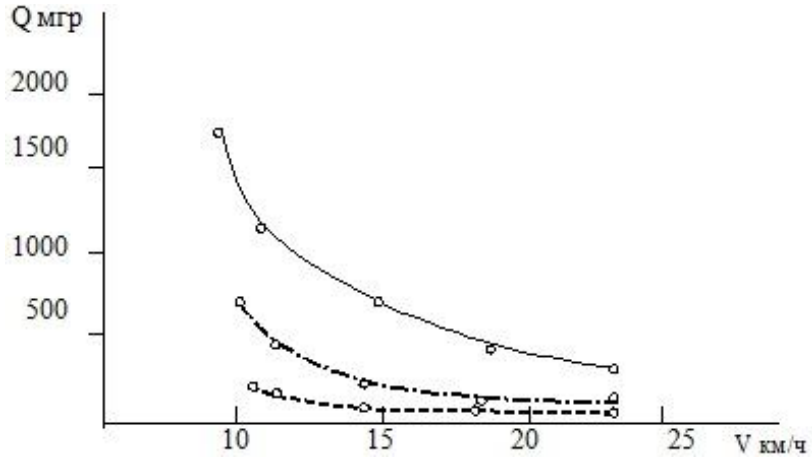


Рисунок 1 –График зависимости величины съема рельсового металла в зависимости от вида и продольной скорости абразивного инструмента

В процессе шлифования плоской поверхности, которую можно считать головку рельса, абразивный инструмент быстро прирабатывается к поверхности головки рельса и становится по очертаниям почти таким, как конфигурация головки рельса. Этот процесс усугубляет работу абразивного бруска. Исключается практически полностью удаление отработанных материалов из зоны резания. Эти материалы скапливаются между абразивным бруском и поверхностью головки рельса спресовуются, а от трения о рельс, при больших скоростях, нагреваются до высоких температур спекаются и образуют так называемые «коржи».

Срезанный металл, в виде стружки, а также обломки абразива и связки, спекшиеся в коржи, представляют собой материал, который оказывает отрицательное влияние на процесс шлифования.

В зоне контакта «коржи» с рельсом за счет трения, на поверхности рельсов реализуются высокие температуры, способствующие образованию прижогов. Эти не желательные явления ведут к изменению микроструктуры стали, за счет выгорания углерода в области

прижога. При этом снижается твердость в зоне прижога, могут образовываться микрещины, способные перейти в усталостный излом и другие дефекты. Изменение механических свойств, химического состава, структурных составляющих и других свойств стали приводят к необходимости досрочной замены рельсов на эксплуатируемых участках пути железных дорог.

Проведенные исследования показали, что плоское шлифование прямоугольными брусками, прижатыми к поверхности головки рельса, ввиду невозможности очистки, отрицательно воздействует на поверхностный слой рельсовой стали. Возникновение прижогов во время шлифования ведет к ухудшению механических свойств стали и возникновению других нежелательных дефектов головки рельса.

На основании этих наблюдений можно сделать вывод, что для повышения эффективности и качества шлифования плоскими прямоугольными брусками плоских поверхностей необходимо шлифовальные инструменты периодически или постоянно очищать от загрязнения отработанных материалов.

Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Базалий Г.А.
Институт сверхтвердыхматериалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев,
Сизоненко О.Н. Институт импульсных процессов
и технологий НАН Украиины, Николаев, Украина

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО РАЗМЕРАМ НАНОПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБРАБОТКИ

Нанопорошки алмаза находят широкое применение для создания композиционных материалов и покрытий с модифицированной структурой и повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками для работы в экстремальных условиях. Нанопорошки применяют а как в качестве адсорбентов, катализаторов, так и в качестве добавок в керамические, полимерные, резинотехнические материалы, для получения абразивных паст и суспензий для прецизионной обработки поверхностей.

Однородность порошков по размерам имеет большое значение при изготовлении материалов высокой плотности с однородной ге-

терофазной структурой, с высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных характеристик.

Для изготовления нанопорошков синтетических алмазов традиционно используют продукт синтеза алмазов, который образуется при детонации взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом. Продукт содержит частицы углерода (размером до 4 нм) в виде кластеров размерами 30–40 нм и агрегатов порядка сотен нанометров.

Цель настоящей работы – исследование распределения по размерам алмазных нанопорошков детонационного синтеза после различных видов обработки.

Методика. Исследовали исходный продукт синтеза (1), а также нанопорошок алмаза марки АСУД 75 исходный (2) и после трех способов удаления неалмазного углерода: жидкофазного окисления смесью серной и хромовой кислот (3), жидкофазного окисления смесью серной и азотной кислот (4), термохимического окисления последовательно термической и химической обработкой (5). Исследовали нанопорошок марки АСУД 99 (исходный (8); после ультразвуковой обработки (УЗ) его водной суспензии (9); после низкотемпературного охлаждения в водной суспензии содержащей 5 масс.% порошка (10)). Исследовали порошок твердого сплава (ВК) (6) и смесь 1 масс.% порошка марки АСУД 75 и порошка твердого сплава после импульсной обработки высоковольтными электрическими разрядами (ВЭР) (7). ВЭР обработке подвергали водную суспензию смеси порошков Т:Ж = 1:3). Количество удельной энергии при ВЭР обработке в пределах 200–300 кДж/л.

УЗ обработку нанопорошка проводили в воде при частоте 20,0–35,0 кГц и энергии 60,0–770,0 кДж/л.

При исследовании распределения частиц по размерам образцов порошка использовали лазерный микроанализатор SEISHIN LMS-30 с последующей компьютерно-цифровой обработкой изображений, позволяющей получить аналитическое описание дисперсной системы.

Для описания использовано экспоненциально-степенное уравнение Розина – Раммлера ($R = 100e^{-bx}$), где R – суммарный выход частиц порошка (%) размером менее заданного размера (x, мкм); e – основание натуральных логарифмов; коэффициенты b и n – постоянные величины, характерные для данного материала. В координатах $\lg(100/R)$, $\lg x$ уравнение изображается прямой, где коэффициент n – тангенс угла наклона прямой; $\lg(b\lg e)$ – отрезок, отсекаемый на

оси ординат. Чем больше коэффициент «*n*», тем более материал сконцентрирован в узком диапазоне размеров, т.е. более однородный по размеру.

Результаты исследований распределения частиц по размерам исследуемых образцов нанопорошков алмаза в виде коэффициентов (*b*, *n*) уравнения Розина-Раммлера и среднего диаметра частиц порошка после различных видов обработки приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты уравнения Розина-Раммлера и средний диаметр частиц порошка после различных видов обработки

Порошок	Вид обработки материала		Коэффициенты уравнения Розина-Раммлера *		Средний диаметр частиц (norm.dot), *d*, мкм
			n	$b \cdot 10^{-2}$	
Исходный продукт	1	Без обработки	2,17	3,20	3,34
АСУД75	2	Без обработки	2,15	1,21	5,21
	3	Жидкофазное окисление	1,77	6,36	3,12
	4	Жидкофазное окисление	1,99	2,40	4,39
	5	Термохимическое окисление	1,59	5,04	3,91
ВК	6	Без обработки	3,28	5,89	1,78
Смесь ВК и АСУД75	7	Обработка ВЭР	1,37	97,46	0,60
АСУД99	8	Без обработки	1,77	6,36	3,12
	9	Обработка УЗ	2,15	1,21	5,2
	10	Низкотемпературное охлаждение	2,57	0,00	321,18

*Достоверность описания распределения частиц по размерам уравнением Розина-Раммлера в диапазоне размеров, при котором достигается суммарный выход частиц порошка 10– 90 %, составляет 0,90–0,98.

Анализ полученных характеристик порошков показал, что средний диаметр частиц продукта синтеза (1) после обработки (2) увеличился, при этом однородность по размеру порошка осталась стабильно высокой (*n* = 2,15). Химические обработки (3,4,5) порошка приводят к снижению однородности по размеру порошка (*n* =

1,99–1,59) при среднем диаметре частиц d = 3,12–4,39 мкм. Обработка водной суспензии порошка АСУД99 ультразвуком (9) приводит к возрастанию однородности по размеру (n = 2,15) и увеличению среднего диаметра агрегатов (d = 5,2 мкм). Низкотемпературное охлаждение водной суспензии (замораживание) (10) порошка АСУД99 с последующим оттаиванием дает возможность повысить однородность по размеру порошка в два раза (n = 2,57) при возрастании среднего диаметра агрегатов почти на два порядка.

Влияние ВЭР обработки на распределение частиц по размерам в нанопорошке алмаза рассмотрено на примере диспергирования смеси порошков твердого сплава (6) и алмаза марки АСУД75, т. е. порошков с существенно различающихся физико-механическими характеристиками.

Установлено, что применяя ВЭР обработку для суспензии смеси порошков ВК (6) и АСУД75 можно получить тонкодисперсный порошок (7), у которого величина среднего диаметра агрегатов и однородность порошка по размерам меньше (d = 0,6мкм; n = 1,37), чем у каждого из порошков, составляющих смесь.

Таким образом, результаты исследования распределения по размерам синтетических нанопорошков алмаза после различных видов обработки подтверждают возможность получения порошков с различным распределением частиц, величиной их среднего диаметра, однородностью по размеру. Результаты могут быть использованы при создании рациональных схем изготовления синтетических алмазных нанопорошков однородных по размеру с заданными физико-химическими и физико-механическими характеристиками.

Парницкий А.М., Сенють В.Т. Объединенный
институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

При получении поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе нано- и микропорошков алмазов одной из важнейших задач является достижение сочетания оптимальных харак-

теристик получаемых материалов при минимальных производственных затратах. Для обоснованного выбора состава шихты и технологических режимов термобарического спекания ПСТМ, а также сокращения продолжительности и объема экспериментов в работе были использованы методы математического планирования эксперимента, традиционно применяемые для оптимизации разнообразных технологических процессов [1]. Известно, что одними из основных физико-механических параметров, определяющих качество и работоспособность алмазных ПСТМ, есть их твердость и трещиностойкость [2].

В связи с этим цель работы заключалась в установлении зависимости твердости H_V и трещиностойкости K_{1C} от параметров термобарического спекания и фракционного состава материала. В качестве основных факторов, влияющих на качество алмазных ПСТМ, рассматривались давление *P*, ГПа, температура *T*, ^{o}C и концентрация модифицирующей добавки С, %, в качестве которой использовали УДА-порошок детонационного синтеза [3].

В качестве исходных материалов использовались порошок УДА производства НП ЗАО «Синта» (г. Минск) с размером частиц 4–10 нм (ТУ РБ 28619110.001-95) модифицированный бором и микропорошок алмазов статического синтеза АСМ 14/10 производства ЗАИ ПО «Кристалл» (г. Гомель), модифицированный кремнием [4]. Термобарическую обработку шихты выполняли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» в диапазоне давлений 5,5–7,5 ГПа при температуре от 1650 до 1950 ^{o}C.

Математическая модель уравнения отклика от независимых переменных с учетом эффектов их взаимодействий и ошибки эксперимента была представлена в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{1 \le i \le k} b_i x_i + \sum_{1 \le i \le l \le k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \le i \le k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где *y* – параметр оптимизации; *k* – число факторов; *i*, l – номера факторов, $i \neq l$; x_i, x_l – варьируемые факторы; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметр оптимизации.

Для получения модели процесса в виде полинома второй степени реализован некомпозиционный план второго порядка. Использование некомпозиционных планов, предусматривающих всего три уровня варьирования факторов (+1, 0, –1), упрощает и удешевляет проведение эксперимента. Некомпозиционные планы характеризуются наличием в строках матрицы планирования большого числа

нулей, в результате чего существенно упрощается вычисление коэффициентов модели.

На основе априорной информации были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Затем составили матрицу некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов.

В соответствии с условиями опытов проводили спекание модифицированных алмазных порошков и замеряли значения твердости и коэффициента трещиностойкости. По данным опытов, проведенных согласно матрице планирования, получена модель, характеризующая зависимость Y_{HV} от исследуемых факторов процесса и представляет собой полином второй степени:

$$Y_{HV} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (2)$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. На основе проведенного анализа было установлено, что коэффициенты b_1, b_{12} и b_{23} меньше доверительного интервала, поэтому их можно признать статистически незначимыми и исключить из уравнения регрессии. Тогда уравнение регрессии (2) получает вид:

$$Y_{HV} = 56{,}77 - 1{,}6\cdot x_2 - 3{,}38\cdot x_3 - 3{,}33\cdot x_1x_3 - 2{,}92\cdot x_{12} - 2{,}67\cdot x_{22} - 3{,}37\cdot x_{32} \quad (3)$$

С учетом перехода к натуральным значениям факторов уравнение регрессии (3) примет вид:

$$Y_{HV} = -1446{,}34 + 135{,}64\cdot P + 7{,}004\cdot C + 1{,}12\cdot T - 0{,}00333\cdot T\cdot C - 0{,}000292\cdot T^2 - 10{,}68\cdot P^2 - 0{,}0337\cdot C^2. \quad (4)$$

Аналогично получено уравнение регрессии для Y_{K1c}:

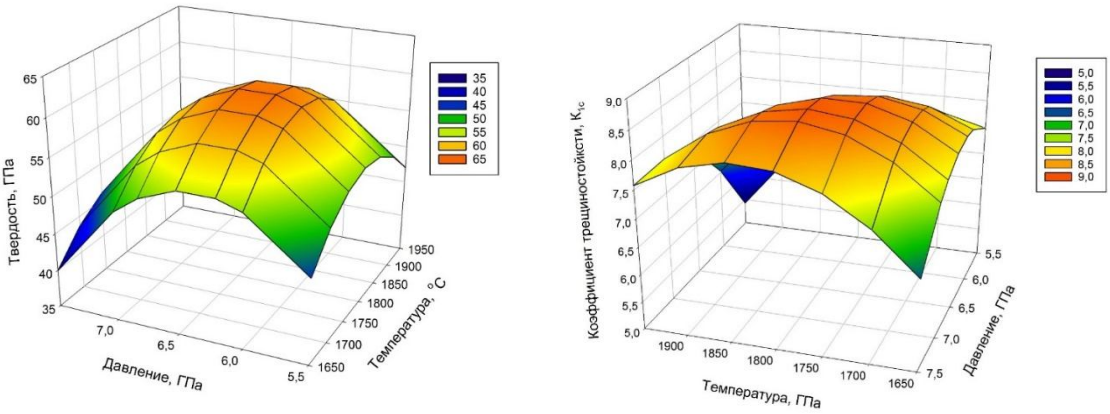
$$Y_{K1c} = 7{,}53 - 0{,}1875\cdot x_1 - 0{,}1625\cdot x_2 - 0{,}23\cdot x_3 + 0{,}25\cdot x_1x_2 - 0{,}44\cdot x_{12} - 0{,}19\cdot x_{22} - 0{,}27\cdot x_{32} \quad (5)$$

После перехода от кодированных значений (x_1, x_2, x_3) факторов к натуральным значениям (T, P, C) уравнение 5 примет вид:

$$Y_{K1c} = -103{,}7725 - 0{,}000044\cdot T^2 - 0{,}76\cdot P^2 - 0{,}0027\cdot C^2 + 0{,}124025\cdot T + 0{,}555\cdot P + 0{,}085\cdot C + 0{,}005\cdot P\cdot T \quad (6)$$

Уравнения регрессии (4) и (6) можно использовать для выбора технологических режимов спекания поликристаллических материалов, обеспечивающих оптимальные значения твердости и коэффициента трещиностойкости в зависимости от исследуемых факторов (Т, Р, С). На рис. 1 представлены полученные с помощью уравнений (4) и (6) графические зависимости твердости и коэффициента трещиностойкости от температуры и давления. При построении по-

верхности откликов (программа SigmaPlot 13) варьировались только два фактора.



а *б*

Рисунок 1 – Зависимость твердости Y_{HV} (*а*) и трещиностойкости Y_{K1c} от температуры и давления при постоянной концентрации добавки наноалмазов (C = 20 %)

Как видно из рис. 1, с увеличением температуры спекания T увеличиваются твердость, однако до определенного предела, после которого увеличение T приводит к графитизации алмазного материала и, следовательно, к снижению указанных характеристик. Аналогично, изменение параметров давления P и концентрации модифицирующей добавки C влечет за собой такие же изменения значений твердости и трещиностойкости, но в меньшей степени.

Максимальная твердость HV = 60,11–61,79 ГПа обеспечивается при температуре спекания T = 1800–1900 °С, давлении P = 6,2–6,5 ГПа и концентрации модифицирующей добавки C = 10–18%. Максимальный коэффициент трещиностойкости K_{1c} = 7,5–7,61 МПа·м$^{1/2}$ получается при следующих значениях температуры спекания T = 1750–1800 °С, давлении P = 6,5–7,0 ГПа и концентрации модифицирующей добавки C = 15–20%. Проведенная практическая проверка полученной модели показала ее адекватность в пределах выбранных интервалов варьирования технологических параметров.

Литература

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.

2.. Патент РФ № 2065834. Способ получения поликристаллического алмазосодержащего материала / В.Б. Ракицкий, В.В. Ничипор, С.Н. Малышев. – Опубл. 27.08.1996.

3. Патент РФ № 1729086. Способ получения композиционного материала из алмаза и карбида кремния // А.А. Шульженко, Г.А. Воронин, А.С. Осипов. – Опубл. 27.11.1995.

4. Структурные особенности алмазных порошков после поверхностного модифицирования активаторами спекания / П.А. Витязь, В.Т. Сенють, В.И. Жорник и др. // Вестник Витебского государственного технологического университета – 2016. – №1(30). – С. 62–73.

Пачурин В.Г. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

КОРРЕЛЯЦИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ С РАЗМЕРОМ ЗЕРНА РЕССОРНОЙ СТАЛИ 50ХГФА

В промышленном производстве широко используются металлические изделия, которые изготавливаются различными способами обработки. Как правило, все прочностные металлические детали машин изготавливаются из заготовок, полученных методом обработки давлением [1]. Различные условия эксплуатации отличаются величиной, характером нагрузки, температурными условиями и средой, которые по-разному влияют на сопротивление усталостному разрушению [2]. Постоянный интерес к проблеме усталости металлов и сплавов связан с проблемами усталостного разрушения ответственных деталей металлоконструкций [3]. Кинетика накопления повреждений при циклическом нагружении существенным образом зависит от структурного состояния конструкционных материалов [4], в свою очередь обусловленного видом и режимом их технологической обработки [5].

В процессе производственного цикла металлическое изделие, как правило, можно изготовить различными технологическими процессами, формирующие различную микроструктуру [6,7]. Поэтому при проектировании технологических процессов изготовления металлических изделий методами обработки давлением необходимо учитывать этот фактор.

В данной работе представлены результаты изучения взаимосвязи между формируемой технологией изготовления структурой и сопротивлением усталости металлоизделия [8].

Проводились микроструктурные исследования в рессорной стали 50ХГФА с целью определения размера зерна для образцов разными степенями технологической деформации (степенями обжатия). Для этого плоские образцы вырезались методом проволочной электроэрозионной резки из раскатанных на клин и термически обработанных металлов [9].

По длине прокатанного листа изучалась микроструктура и определялся размер зерна. С этой целью, на основании применения оптической цифровой микроскопии, был разработан специализированный программный пакет с использованием программного обеспечения NI Vision и среды разработки LabVIEW фирмы National Instruments [10]. В состав пакета входят две программы. Первая обеспечивает количественные измерения и обсчет микроструктуры металла. Для этого производится бинаризация цифровых фотографий микроструктуры, в результате которой элементы изображения разделяются на объекты – зерна и фон.

Полученные образцы испытывались на усталость (консольно-симметричный изгиб) при одинаковом напряжении, обеспечивающими уровень циклической долговечности в области 10^5–10^6 циклов. Результаты испытаний на усталость сравнивали с размерами зерен образцов.

В результате получили уравнение зависимости количества циклов до разрушения (циклическая долговечность) образцов стали 50ХГФА (рис. 1).

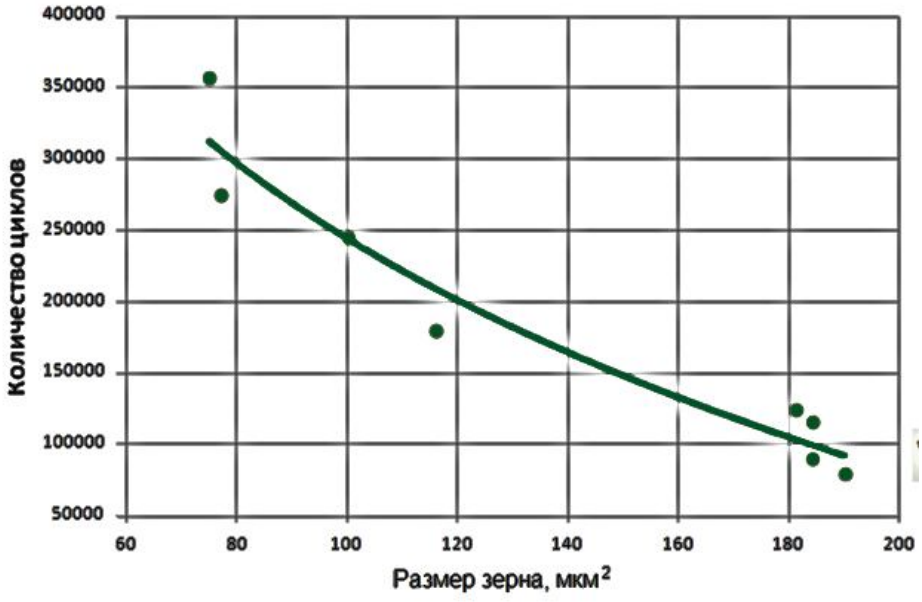


Рисунок 1 – Зависимость числа циклов до разрушения образцов из стали 50ХГФА от размера зерна

Получено уравнение зависимости количества циклов до разрушения стали 50ХГФА от величины зерна:

$$Y = -237125{,}08\ Ln(x) + 1336448{,}22;\ R^2 = 0{,}93,$$

где Y – число циклов до разрушения; x – размер зерна, мкм; R – коэффициент корреляции.

Оно позволяет прогнозировать циклическую долговечность и существенно сократить время оценки для стали типа 50ГГФА, для чего достаточно определить размер зерна и по уравнению вычислить ожидаемую циклическую долговечность. Кроме того, можно выбрать оптимальный режим из конкурирующих технологических обработок по параметру цикличной долговечности методом сравнения по величине зерна.

Экспериментальное подтверждение выявленной зависимости проводилось также на сталях марок 51ХГФА и 60С2А. Отклонения циклической долговечности в экспериментах от данных, полученных по уравнению, не превышали 6%. Это дает основание в данном случае полагать в качестве основного контролирующего параметра, характеризующего сопротивление усталости, величину зерна.

Таким образом, установленная зависимость позволяет прогнозировать циклическую долговечность и существенно сократить время ее оценки для сталей типа 50ХГФА, за счет исключения длительных, дорогостоящих, энерго- и трудоемких усталостных испытаний.

Литература

1. Галкин В.В., Пачурин В.Г., Пачурин Г.В. Эксплуатационная долговечность листовых гофрированных заготовок из некоторых титановых сплавов // Фундаментальные исследования. – 2014. – №12-3. – С. 476–482.

2. Оценка влияния структурного состояния на циклическую долговечность деформированных материалов / В.Г. Пачурин, В.В. Галкин, Г.В. Пачурин, А.А. Дербенев // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – № 4 (111). – С. 177–185.

3. Галкин В.В., Пачурин В.Г., Пачурин Г.В. Структурно-механические и усталостные свойства штампованных на молоте и прессе листовых гофрированных панелей из сплава ЭИ 878 // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10-15. – С. 3294–3298.

4. Пачурин Г.В. Роль структуры поверхности в коррозионной усталости деформированных металлических материалов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.; URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=11907 (дата обращения: 15.01.2017).

5. Пачурин Г.В., Галкин В.В., Пачурин В.Г. Долговечность упрочненных металлов и сплавов: уч. пособие. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 228 с.

6. Пачурин В.Г., Галкин В.В., Пачурин Г.В. Оценка деформационной неоднородности в раскатанных изделиях с клиновым профилем// Фундаментальные исследования. – 2014. – №11-4. – С. 765–773.

7. Пачурин В.Г., Филиппов А.А., Пачурин Г.В. Формирование структуры хромистых сталей под высадку болтов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 9. – С. 55–56.

8. Исследование закономерностей структурно-механических изменений раскатанной на клин стали 50ХГФА с целью повышения ресурса малолистовых рессор / О.В. Власов, В.В. Галкин, Е.Г. Терещенко, Г.В. Пачурин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2013. – №10. – С. 4–10.

9. Закономерности изменения структурно-механических свойств металла в изделиях с клиновым профилем, получаемого операцией раскатки / В.Г. Пачурин, В.В. Галкин, Г.В. Пачурин, А.А. Дербенев: Перспективные технологии XXI веке. В 2-х кн./ под общ. ред. С.В. Куприенко. – Одесса: Куприенко С.В., 2013. – Кн. 2. – 155 с.

10. Определение величины зерна для оценки степени рекристаллизации горячедеформированных сталей и сплавов / С.А. Манцеров, В.В. Галкин, Е.Г. Терещенко и др. // Св. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2105611190. Заявка 20146663 от 09.12.2014 г. Дата гос. рег. в реестре программ для ЭВМ 26.01.2015 г.

Перепічай І.І., *Перепічай А.О.*, *Рабкіна М.Д.*,
Мутас В.В. Інститут електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України, Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО РЕМОНТУ ЗВАРЮВАННЯМ КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

На даний час в нафтопереробному комплексі України існує велика кількість обладнання, яка вичерпала свій проектний ресурс та потребує заміни. Але тим не менше, значна частина з них залишається в дії, у зв’язку з чим постає питання безпечного продовження

її експлуатації. Варто зауважити, що найбільш уразливими серед інших об'єктів, постають теплообмінні апарати, термін служби яких індивідуальний навіть в рамках одного підприємства [1].

Аналіз результатів моніторингу тривалої експлуатації оболонкових конструкцій в нафтопереробній галузі в цілому, в тому числі *теплообмінників*, включаючи підігрівачі і ребойлери, холодильники і конденсатори, випарювачі і трубні пучки [2], показав, що вплив агресивного середовища, високих температур та тиску призводить до виникнення в металі специфічних дефектів, крім тих, що пов'язані з процесами виготовлення конструкції в допустимих нормами межах, зокрема із зварюванням. Серед *експлуатаційних* дефектів особливий вплив на працездатність конструкцій несуть: поверхнева і воднева корозія, корозійне розтріскування і міжкристалічна корозія, зміна хімічного складу і механічних властивостей, включаючи повзучість металу [3].

На основі результатів перманентної експертної технічної оцінки протягом більше 20 років близько 700 кожухотрубних теплообмінників, як первинної, так і вторинної переробки нафти, виявлено, що в цілому, в оболонках із низьколегованих та вуглецевих сталей виникає поверхнева корозія (рис. 1), а в двохшарових – з теплостійких і корозійностійких сталей – міжкристалічна корозія (рис. 3). При цьому горизонтальні теплообмінні апарати схильні до значних корозійних пошкоджень саме в нижній частині, як на внутрішній поверхні кожуха (див. рис. 1), так, власне, і на трубному пучку (рис. 2).

Рисунок 1 – Корозійні виразки на денці плавголовки теплообмінника зі сталі 17ГС.

Рисунок 2 – Корозійні відкладення в нижній частині трубного пучка із сталі 15Х5М

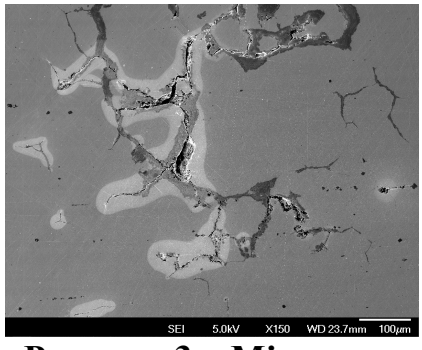


Рисунок 3 – Міжкристалітна тріщина в плакуючому шарі двохшарової сталі 12ХМ+08Х18Н10Т

Для дослідження напружено-деформованого стану при заварці типового дефекту по одній з існуючих технологій [4] проведено скінченно-елементне моделювання. В програмному комплексі відт-

ворено почергове накладання швів в два шари (рис. 4). Перший шар від середини до країв, кожний наступний шов міняє напрямок на протилежний; та другий шар таким самим чином, як і перший, тільки напрямок швів другого шару протилежний напрямку швів першого шару.

Для розрахунку використовувалась геометрична модель, розроблена згідно вимог вище згаданої технології. Для зменшення часу розрахунку, проводилось моделювання ділянки корпусу теплообмінника розміром 400×300 мм. Побудову скінченно-елементної моделі приведено на рис. 5.

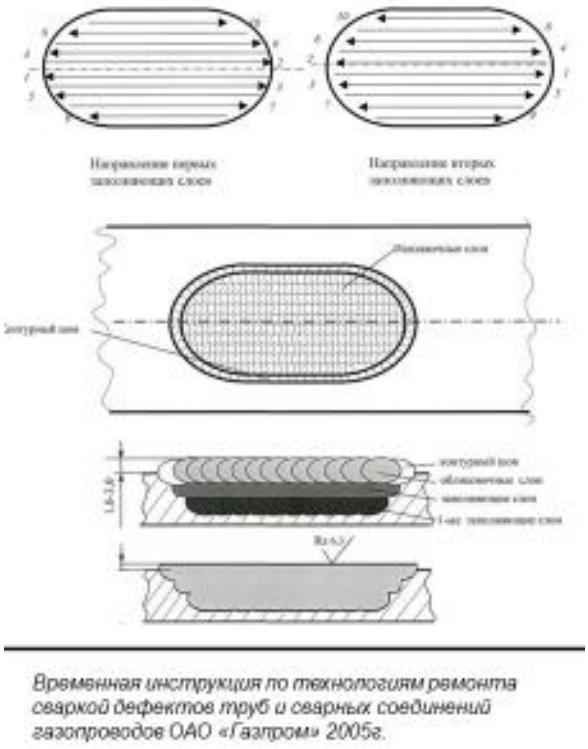


Рисунок 4 – Схема заварювання корозійного дефекту

Таким чином, в результаті аналізу металу теплообмінних апаратів, як найбільш уразливої складової нафтопереробного виробництва, показано, що найпоширеніші дефекти, які мають місце при тривалій експлуатації цього обладнання – це корозійні виразки. Тому пропонується розглянути існуючі і діючі на даний час нормативи по заварюванні аналогічних дефектів на оболонкових конструкціях та трубопроводах.

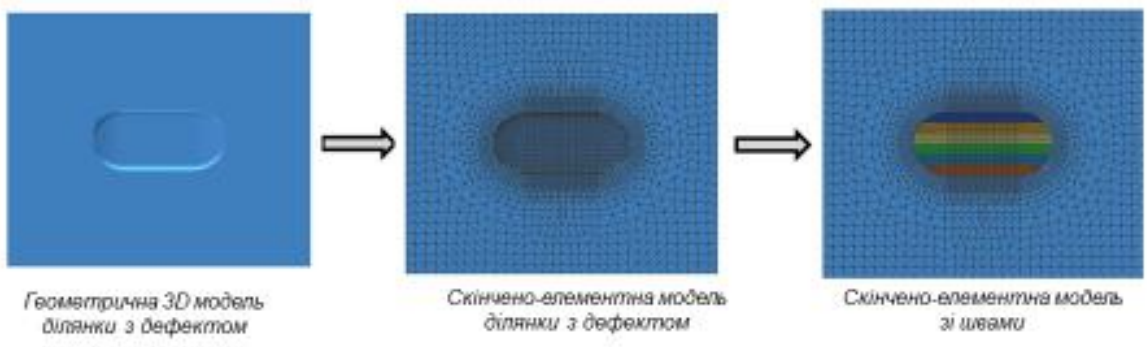


Рисунок 5 – Розробка моделі з корозійним дефектом та розбиття сіткою скінченних елементів

В результаті моделювання отримано розподіл напружень на зовнішній та внутрішній поверхні дефекту (рис. 6).

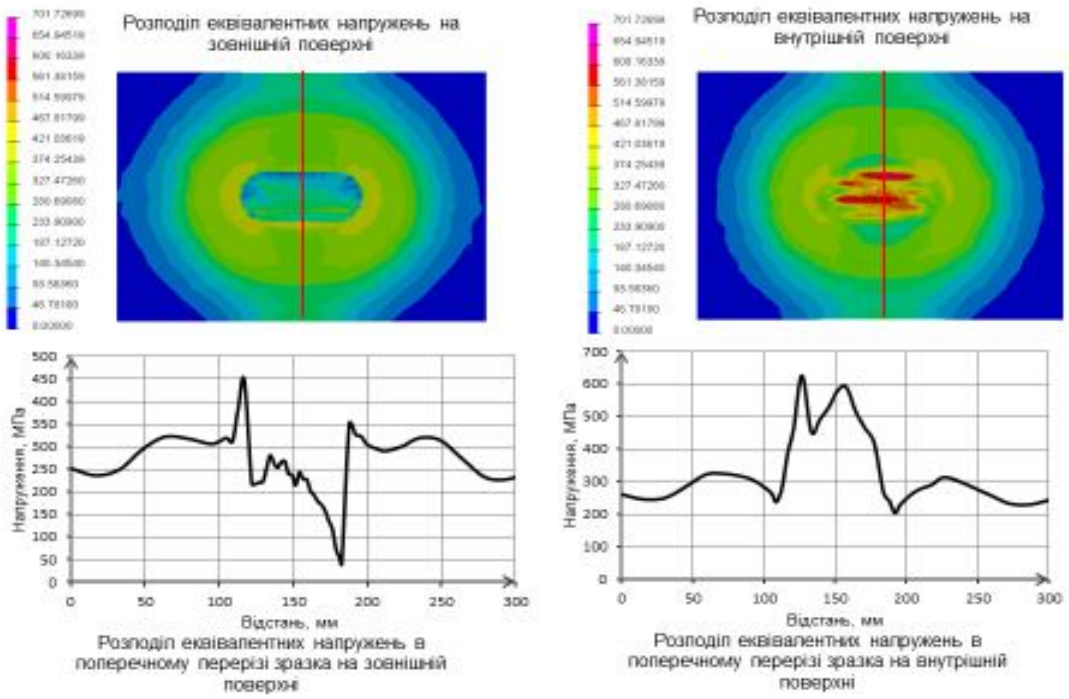


Рисунок 6 – Результати моделювання пластини з дефектом

За результатами моделювання по застосованій технології наведено, що максимальні еквівалентні напруження виникають на внутрішній стінці кожуха теплообмінника (моделі), а величина цих напружень перевищує границю текучості для даної сталі, що пояснюється значним рівнем пластичної деформації та зміною мікроструктури (зокрема, появою мартенситу).

Варто зазначити, що високий рівень напружень та зменшення пластичності металу може негативно вплинути на подальшу працездатність теплообмінника.

Література

1. Назначение и классификация теплообменных аппаратов: Режим доступа https://openedu.urfu.ru/files/book/Глава%201.html

2. Комплекс оборудования для ремонта и обслуживания трубных пучков /И.Г. Богородский, Я. Веркайк, Ф. ван Алевайк, Ю. Балье // Мат. семинара «Конструктивные и технологические решения по повышению эффективности тепло-массообменной и других видов аппаратуры нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств», г. Москва. – М., 2009. – С. 121–125.

3. Повзучість_матеріалів: Режим доступу https://uk.wikipedia.org/wiki

4. Временная инструкция по технологиям ремонта сваркой дефектов труб и сварных соединений газопроводов. – М.: Газпром, 2005.

Петасюк Г.А., Лавріненко В.І., Сирота Ю.В., Косенчук Т.О. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІНИ ОДНОРІДНОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ЗА МОРФОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТА ЗА СТАТИЧНОЮ МІЦНІСТЮ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ЇХ МАРОК І ЗЕРНИСТОСТІ

Якість абразивного інструменту в значній мірі обумовлена якістю абразивного порошку, використаного в його різальному шарі. В роботі [1], присвяченій доволі ґрунтовному сучасному огляду широкого кола важливих властивостей абразивних порошків, як інструментального матеріалу, їх зв'язку з характеристиками виготовлених з них шліфувальних інструментів та з результатами застосування таких інструментів у виробництві, вся сукупність властивостей абразивних порошків об'єднується в три основні групи: зернистість, міцність та форму. Відзначається, що якість частинок залишається важливим критерієм продуктивності інструменту. Більша інформаційно-прикладна поінформованість щодо методів розділення та сортування абразивних порошків і показників їх якості може допомогти всім зацікавленим сторонам: виготовлювачам порошків, виробникам абразивного інструменту та його користувачам.

Шліфпорошки синтетичного алмазу (СА), які застосовуються на операціях абразивної обробки в машинобудуванні, характеризуються доволі широким діапазоном показників їх статичної міцності. При цьому менш міцні зерна (шліфпорошки марок АС6–АС20) застосовуються в алмазних кругах для процесів шліфування виробів машинобудування, більш міцні зерна (шліфпорошки АС32–АС80) – для відрізних кругів, кругів на гальванічних зв'язках і для кругів, що використовуються для обробки каменю та бетону. Зерна наступного діапазону статичної міцності (шліфпорошки марок АС100–АС160) є характерними для породоруйнуючого (геологорозвідувального) інструменту і, насамкінець, найбільш міцні зерна з діапазону шліфпорошків марок АС200–АС400 застосовуються в прецизійному правлячому інструменті.

Чи не найважливішими ознаками якості шліфпорошків СА є значення їх морфометричних характеристик та показники однорідності за ними. Значення морфометричних характеристик (головним

чином відносних) були предметом дослідження нашої попередньої роботи [2]. Продовжуючи ці дослідження, в роботі, що подається тут, проводиться аналіз однорідності шліфпорошків СА за їх морфометричними характеристиками.

Оскільки показники морфометричних характеристик для порошку в цілому встановлюються шляхом знаходження середнього арифметичного для окремих зерен проби, то велике значення з точки зору якості має оцінка адекватності отриманих середніх значень. Для ефективного вирішення такої задачі в сферу оцінювання якості абразивних порошків було введено поняття їх однорідності. Нами показники однорідності досліджуваних шліфпорошків для різних областей їх марок та зернистостей визначалися за індексом стабільності розглядуваних морфометричних характеристик [3].

Проведений огляд відомих публікацій, присвячених вивченню однорідності шліфпорошків СА за їх морфометричними характеристиками показав, що відомі результати стосуються головним чином шліфпорошків окремих марок і зернистостей, а саме: АС6 [4,5], АС20 [6], АС160 [7], АС200 [8], АС300 [9]. Що ж до аналогічних за метою, але комплексних досліджень відразу для всього неперервного діапазону статичної міцності (марок) шліфпорошків СА і їх зернистостей, то вони, очевидно, не проводилися. Принаймні виявити результати подібних досліджень за підсумками проведеного нами огляду не вдалося. Зауважимо, що для сфери алмазно-абразивної обробки характерним є застосування в інструменті шліфпорошків усіх окреслених вище 4-х діапазонів їх марок. Тому мета нашої роботи полягала в першу чергу у дослідженні принципової різниці та ступеню її суттєвості в однорідності за значеннями морфометричних характеристик при переході від одного діапазону їх марок і неперервного ряду зернистостей до іншого.

Передбачувана (регламентована) нормативними документами [10, 11] сукупність шліфпорошків СА нараховує 14 марок та 13 зернистостей і складає 180 їх зразків. Природно, що охопити всі ці 180 зразків шліфпорошків в одній публікації неможливо. Це клопітлива і тривала щодо виконання робота. Тому в цьому дослідженні ми обмежились лише трьома областями із зазначеної вище загальної їх сукупності, а саме: шліфпорошки зернистістю 250/200, марок АС6 – АС200 (область А); шліфпорошки зернистістю 500/400, марок АС100, АС200–АС400 (область Б); шліфпорошки марки АС200, зернистостей від 250/200 до 800/630 (область В). При цьому фізичними виразниками марки та зернистості були прийняті статична міц-

ність зерен за методикою стандарту [10] та мінімальний діаметр Фере [12] відповідно.

Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик зерен шліфпорошків СА здійснювали за допомогою приладу DiaInspect.OSM [12]. Була проаналізована низка морфометричних характеристик та статична міцність шліфпорошків СА із зазначених трьох областей. Випробування на статичну міцність проводили на приладах ДА-2, ДА-2М та ДДА-33 [13], зважаючи на широкий діапазон марок досліджуваних шліфпорошків.

Однорідність є однією із найважливіших ознак якості абразивних порошків. Фізична природа однорідності таких порошків пояснюється формою їх існування як дисперсного матеріалу. Стосовно порошків СА це зумовлює специфіку визначення більшості їх характеристик, яка полягає у проведенні серії однотипних випробувань проби порошку з наступним осередненням результатів для окремих зерен проби шляхом знаходження середнього арифметичного. Однак при такому способі опрацювання числових даних втрачаються важливі елементи структури отримуваного показника характеристики, зокрема такі як щільність і варіаційних розмах значень, центри їх групування та інші, що негативно позначається на об'єктивності оцінювання якості порошків. Саме в заповненні такої інформаційної прогалини і полягає завдання та понятєвий сенс однорідності і стабільності алмазних порошків.

Для більш ефективного порівняння якості порошків, ідентифікованих за різними стандартами, та для випадку, коли варіаційний розмах значень характеристики, за якою оцінюється якість порошку, невеликий, в роботі [3] було введено нову альтернативну до однорідності ознаку якості, названу стабільністю. Як числовий показник стабільності, який іменується індексом стабільності (i_{st}), запропоновано приймати добуток внормованих коефіцієнтів варіації і осциляції та відношення середньогармонійного до середньоарифметичного. Аналітичними дослідженнями [3] доведено, що індекс стабільності у запропонованій формі дозволяє виявити навіть невеликі розходження у якості порівнюваних порошків, коли за значеннями основного показника характеристик вони дуже близькі між собою. Тому саме за критерієм стабільності і проводився аналіз тенденції зміни якості шліфпорошків СА в межах досліджуваних тут переходів.

Результати визначення однорідності за індексом стабільності досліджуваних шліфпорошків із областей А і Б подаються в таблиці. Порівняльний аналіз отриманих результати дозволяє зробити на-

ступні висновки. Загальна динаміка тенденції зміни i_{st} така, що його значення зростають при переході до міцніших марок шліфпорошків СА та більших їх зернистостей. Такий характер зміни властивий для обох досліджуваних областей: чи то руху в межах однієї зернистості, чи то рух в межах сталої марки. Очевидно, це наслідок того, що зерна високоміцних крупнозернистих шліфпорошків СА мають більш досконалу, близьку до правильних кристалів форму (табл. 1).

Таблиця 1 – Приріст (%) початкового значення індексу стабільності (i_{st}) шліфпорошків СА за морфометричними характеристиками та статичною міцністю (P, Н) при переході від менш до більш міцних марок в досліджуваних областях

Морфометричні характеристики	область А			область Б			область В		
	i_{st}		приріст i_{st}, %	i_{st}		приріст i_{st}, %	i_{st}		приріст i_{st}, %
	АС6	АС200		АС100	АС400		250/200	800/630	
F_{max}	0,399	0,574	43,9	0,624	0,797	27,7	0,262	0,696	165,6
F_{min}	0,411	0,603	46,7	0,573	0,743	29,7	0,310	0,666	114,8
d_e, мкм	0,424	0,638	50,4	0,602	0,788	30,9	0,301	0,702	133,2
$f_{r.}$	0,596	0,744	24,8	0,789	0,799	1,3	0,268	0,716	167,2
F_e	0,509	0,605	18,9	0,566	0,776	37,1	0,542	0,74	36,5
Rg	0,859	0,917	6,8	0,906	0,924	2,0	0,756	0,920	21,7
A_t, мкм^2	0,276	0,459	80,9	0,429	0,513	19,6	0,119	0,434	264,7
A_{lg}	0,090	0,174	93,3	0,102	0,322	215,7	0,136	0,186	36,8
P, Н	0,050	0,137	1740,0	0,115	0,274	36,8	–	–	–

Кількісний аналіз показує, що у випадку морфометричних характеристик найбільший приріст i_{st} (264,7%) має місце для A_t при переході від зернистості 250/200 до зернистості 800/630 в межах марки АС200 (область В) та для A_{lg} при переході від марки АС100 до марки АС400 в межах зернистості 500/400 (215,7%, область Б). Найменший приріст i_{st} спостерігається для $f_{r.}$ і Rg (1,3 та 2,0% відповідно) у випадку області Б. Стосовно однорідності за розмірними характеристиками, то найбільший приріст i_{st} (165–114%) має місце при переході від зернистості 250/200 до зернистості 800/630 в межах марки АС200 (область В), найменший (27–31%) – при переході від марки АС100 до марки АС400 в межах зернистості 500/400 (215,7%, область Б). Щодо статичної міцності, то тут максимальний

приріст (1740%) має місце в області А, тобто при переході від марки АС6 до марки АС200 в межах зернистості 250/200.

Таким чином, з наведеного вище можна зробити наступні узагальнені висновки.

1. Виявлена чітка кореляція між маркою і зернистістю шліфпорошків СА та їх однорідністю за морфометричними характеристиками і статичною міцністю, як головною ознакою якості шліфпорошків. Якщо повернутися до поданої у вступі градації шліфпорошків за їх марками та зернистостями, то за підсумками проведених досліджень можна стверджувати, що найбільша інтенсивність зміни має місце у випадку перших двох груп шліфпорошків (АС6–АС20 та АС32–АС80).

2. При виборі шліфпорошків для виготовлення абразивного інструменту найбільш прискіпливого контролю якості вимагають шліфпорошки першої групи (процеси шліфування виробів машинобудування, марки АС6–АС20). Проведені дослідження показали, що стабільність характеристик шліфпорошків цієї групи, як основний показник їх якості, є суттєво гіршою, ніж шліфпорошків групи 4 (прецизійний правлячий інструмент). Такий стан речей обумовлений, очевидно, різними способами отримання шліфпорошків. Шліфпорошки 1-ої групи отримують зазвичай із застосуванням вибіркового подрібнення. Тому вони являють собою здебільшого частинки (осколки) синтетичного алмазу неправильної великою мірою випадкової форми. Порошки ж 3-ої та особливо 4-ої груп отримують, як правило, безпосередньо із очищеного продукту синтезу із заміною додаткового подрібнення на розділення на вібростолах за формою зерен.

Література

1. Linke, B.S. (2015) A review on properties of abrasive частицыs and частицы selection // Int. J. Abrasive Techn.– 2015.– Vol.7, №1.– P.46–58.

2. Особливості зміни відносних показників морфометричних характеристик шліфпорошків синтетичних алмазів у широких діапазонах їх міцності та зернистості / В.І. Лавріненко, Г.А. Петасюк, Ю.В. Сирота, О.О. Пасічний // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Мат. 16-го Международ. науч.-техн. семинара «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 22–26 февраля 2016 г., Свалява, Карпаты. – К.: АТМ Украины, 2016. – С. 128–131.

3. Новиков Н.В., Богатырева Г.П., Петасюк Г.А. К вопросу повышения информативности морфологических характеристик порошков из сверхтвердых материалов, определяемых на видео-компьютерных диагностических комплексах // Сверхтвердые. материалы. – 2005. – №3. – С. 73–85.

4. Влияние физико-механических характеристик синтетических алмазных порошков марки АС6 на износостойкость алмазного инструмента / В. И. Лавріненко, Г.Д Ильницкая, Г.А. Петасюк и др. // Сверхтвердые материалы. – 2013. – № 5. – С. 72–81.

5. Дослідження впливу морфометричних характеристик зерен НТМ на різальну здатність алмазно-абразивного інструменту / В.І. Лавриненко, В.В. Смоквина, Г.А. Петасюк и др. // Резание и инструмент в технологических системах: сб. науч. тр.– Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – вип. 84. – С. 153–157.

6. Влияние обработки высоковольтным электрическим разрядом на морфометрические характеристики алмазных порошков / Г.П. Богатырева, О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.А. Петасюк и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – вып. 14. – С. 272–277.

7. Влияние однородности шлифпорошков синтетического алмаза на работоспособность бурового инструмента / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Г.Д Ильницкая и др. // Сверхтвердые материалы. – 2012. – №2. – С. 87–95.

8. Свойства высокопрочных порошков синтетического алмаза, извлеченных из отработанного бурового инструмента / Г.П. Богатырева, Н.А. Олейник, Г.Д Ильницкая и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – вып. 12. – С. 198–204.

9. Лавриненко В.И., Петасюк Г.А., Сухарев Д.В. Морфометрические характеристики монокристаллов синтетического алмаза как критерий равномерности износа прецизионных алмазных правящих роликов // Резание и инструмент в технологических системах: сб. научю тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – вып. 81. – С. 162–169.

10. ДСТУ 3292–95 «Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови». Введ. 01.01.96.

11. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400: Технические условия ТУ У 28.5–054717377–072–2003.

12. DiaInspect / DiaInspect.OSM operating manual. – Режим доступа: http://www.vdiamant.de/English/download.htm

13. Лошак М., Александрова Л., Косенчук Т. Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження // Метрологія та прилади.– 2013. – №2 (40). – С. 11–15.

Петрусенко Л.А., Антонюк В.С. НТУ Украины
«Киевский политехнический институт
им. Игоря Сикорского», Киев, Украина

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Одним из распространенных на практике видов отказа работоспособности твердосплавного режущего инструмента является хрупкое разрушение в виде выкрашиваний и сколов режущего клина. При черновой обработке, прерывистом резании и других сложных условиях резания, хрупкое разрушение во многих случаях наступает задолго до достижения предельного износа.

Общепризнанной причиной таких разрушений являются растягивающие напряжения, возникающие в опасной зоне, расположенной на передней поверхности инструмента на расстоянии от вершины режущего клина, в 2–2,5 раза превышающем длину зоны контакта.

В работах А.И. Бетанели обосновано применение принципа Сен-Венана – замена реально действующих при резании контактных нагрузок на сосредоточенную силу (равнодействующая сила резания P или ее составляющие – P_z, P_x и P_y) приложенною к вершине клиновидной балки [1].

Как показывают результаты поляризационно-оптических исследований, растягивающие напряжения, особо опасные для твердых сплавов, возникают за пределами контакта в области, прилегающей к передней поверхности [2]

В то же время, большинство работ по расчетам напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента посвящено исследованиям распределения напряжений в зоне контакта, например, получивший широкое распространение метод конечных элементов. Но в этой зоне могут быть только напряжения сжатия.

В работах [3, 4] приведено преобразование формулы А.И. Бетанели для расчетов напряжений за пределами контакта к виду:

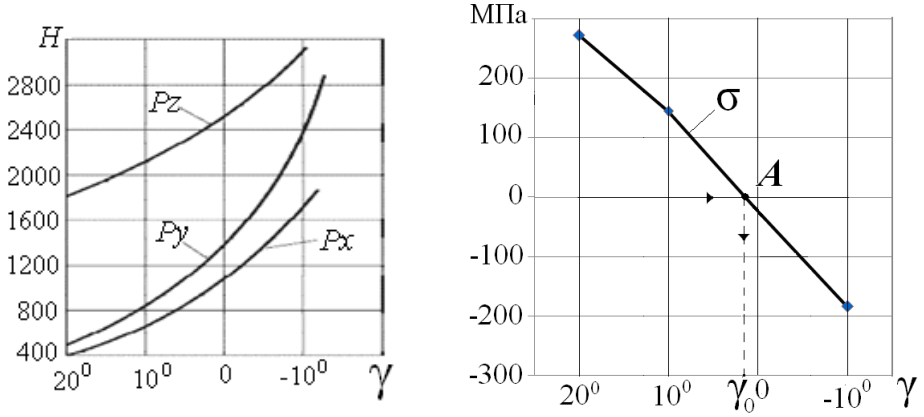
$$\sigma_1 = \frac{K_z P_z - K_y P_y}{br} \qquad (1)$$

где K_z, K_y – коэффициенты; P_z, P_y – составляющие силы резания; b – ширина среза; r – расстояние от вершины до расчетной точки передней поверхности.

Коэффициенты K_z и K_y постоянны при заданных углах режущего клина, рассчитаны и приведены в работе [4].

Для расчетов по этой формуле данные о величинах составляющих силы резания могут быть получены из таблиц, расчетов по формулам или измерены с помощью динамометров. Поэтому, проведя измерения или расчеты зависимостей составляющих силы резания, например, от изменения углов режущего клина, радиуса округления режущей кромки или других факторов, с применением формулы 1 и таблицы коэффициентов рассчитают соответствующие зависимости уровней напряжений, возникающих в опасной зоне инструмента.

На рис. 1 представлен пример расчета. По данным об изменении составляющих силы резания от величины переднего угла (рис. 1, *а*) выполнен расчет напряжений в опасной точке передней поверхности. График изменения уровня напряжений от величины переднего угла γ приведен на рис. 1, *б*.



а *б*

Рисунок 1 – Зависимость составляющих силы резания от переднего угла режущего клина (*а*) и зависимость уровня напряжений (*б*)

По графику изменения напряжений (см. рис. 1, *б*) можно определить значение переднего угла γ, при котором уровень напряжений в опасной зоне инструмента равен нулю (точка *A*). Как видно из гра-

фика, при уменьшении переднего угла γ, несмотря на рост составляющих сил резания, уровень напряжений снижается.

Полученное значение угла γ_0, является наиболее рациональным, так как при этом нейтральная линия ($\sigma = 0$) совпадает с передней поверхностью инструмента, т.е. вероятность хрупкого разрушения минимальна.

Аналогичные результаты можно получить, проведя расчеты зависимостей напряжений от радиуса округления режущей кромки или других факторов, влияющих на величины составляющих силы резания. Такие инженерные методы расчета напряжений позволяют определять наиболее рациональные геометрические параметры инструмента, исходя из условий максимальной прочности режущей части.

Литература

1. Бетанели А.И. Прочность и надежность режущего инструмента: научное издание. – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973. – 304 с.

2. Физические основы процесса резания. / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, С.П. Выслоух и др.; под. общ. ред. В.А. Остафьева. – К.: изд. «Вища школа», 1976. – 136 с.

3. Ильченко Н.Я., Ковтуненко В.В., Петрусенко Л.А. Об особенностях напряженного состояния режущей части инструмента при прерывистом резании // Резание и инструмент в технологических системах: сб. научю тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 1979. – №22. – С.72–77.

4. Расчет напряжений, возникающих в опасной зоне лезвийной части режущего инструмента / Л.А. Петрусенко, В.С. Антонюк // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: Машинобудування – К.: НТУУ «КПІ»., 2016. – вип.77. – С. 147–156.

Pihl T. Tallinn University of Applied Sciences,
Tallinn, Estonia

THE RENOVATION TECHNOLOGY WITH COMBINED METHODS

Electroplating is a metal coating process, wherein a thin metallic coat is deposited on the specimen by means of ionized electrolytic solution. The specimen (cathode) and the metallizing source material

(anode) are submerged in the solution where a direct electrical current cause the metallic ions to migrate form the source material to the work piece. Plating is carried out for many beneficial reasons: corrosion resistance, improved appearance, wear resistance, higher electrical conductivity, better electrical contact and other properties. Electroplating for different aluminium alloys may be serious problem if the purposed is to renovate worn or damaged surfaces. In this case the solution is to use good bond coating material for old- and new coating. In the current research are also used gas-dynamic powder spraying to achieve bond coat and after that it is possible to electroplate with different coatings [1]. The materials for gas-dynamic coatings depend of base material and mechanical properties for repair or renovating.

Specimens of aluminium alloy (EN AW 2024, EN 573) with dimensions 30×30×4 mm were blasted with Al_2O_3 abrasive and coated with copper up to thickness of 150 μm. Given bond coat was sprayed with gas-dynamic spraying equipment Dymet 413. The specimens with same dimensions were subsequently polished to the surface roughness (*Ra*) of 0,8 μm for electrochemical (electroplated) coatings. The electroplated bond coat was blasted to have thickness of 7 μm (table 1).

Table 1 – Blasting parameters for cold spraying bond coat

Gas for transportation: pressure of compressed air	0,6–1,0 MPa
Temperature of heated gas	30–500 ^oC
Gas flow	0,3–0,4 m^3/ h
Spraying distance	10–50 mm
Powder feeding	0,3–3,0 kg/h
Machine used	ILB 120
Grit used Al_2O_3	100–150 μm
Air pressure	0,6 MPa
Distance	40–50 mm

Equipment for cold spraying was Dymet 413 shown in Fig 1.

In the current research were used two different technologies for making the bond coat. Firstly base coat with cold spraying equipment Dymet 413 was made and after that bond coat was on based by electroplating. For sprayed bond coat were used special powder on base of copper (commercial type C-01-01, Cu and Al_2O_3). The bond strength of the sprayed layer was from 40 MPa to 50 MPa.

The electroplating (brush plating) was done by applying commercially available solutions from Sifco Inc. The electroplating was carried out according to the supplier's recommendations and specifications with the following parameters:

Mean current density $I = 1{,}5$ A/cm^2
Mean temperature $t = 30$ °C
Single phase power pack SMPX 60-35

Electrolytes properties from supplier and research data can be followed in Table 2.

Table 2 – Electrolytes for wear resistant coatings on aluminium [2]

Operation	Material	Volts	Polarity
Electro clean	SCM 4100	10 to 12	Forward
Pre-wet and etch	SCM 4300		Reverse
Pre-wet and pre-plate	Nickel SPS 5600		Forward
Electroplate	SPS 5727		
Electroplate	SPS 5644		

Hard chrome coating electrolyte were made on the base of chrome crystals from Caswelle Inc, H_2SO_4 and mixed with distilled water [3]. The coated aluminium alloy specimen is shown in Fig. 2.

Fig. 1 – Cold spraying equipment Dymet 413

In figure 3 is shown the structure of sprayed copper and electroplated chromium coatings.

In figure 4 is given structure, where are shown two electroplated coatings. Bond coat is nickel and top coat chromium. The deposited thickness of the coating was 200 μm.

In figure 5 is shown wear resistant hard chrome coating without bond coat. On the graph of the microstructure can also be followed the course of cracks and structure after the start of corrosion.

The properties of coatings depend on current density and deposition time. Using too low current density (0,2–0,5 A/cm^2) causes the process to proceed slowly and bond strength between coating and base material will not be sufficient (Fig. 6).

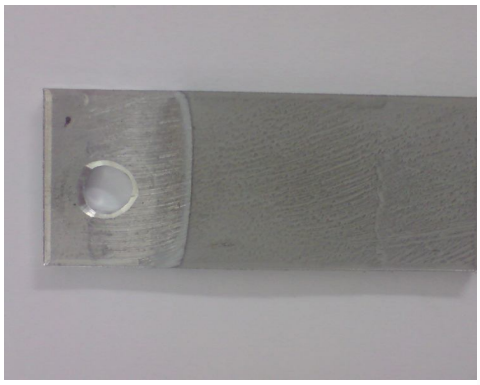


Fig. 2 – Coated specimen with hard chromium

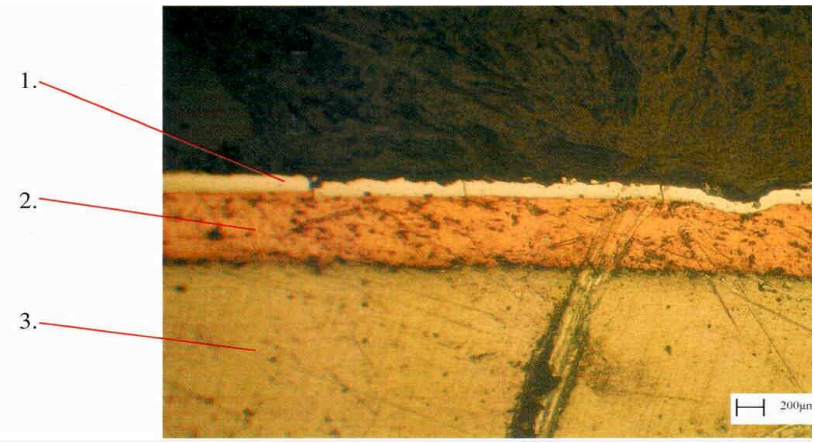


Fig. 3 – The coating structure: 1 – electroplated hard chromium, 2 – sprayed copper bond coat, 3– base material (aluminium). The sprayed copper bond coat consist the small particles of Al_2O_3 (small black points)

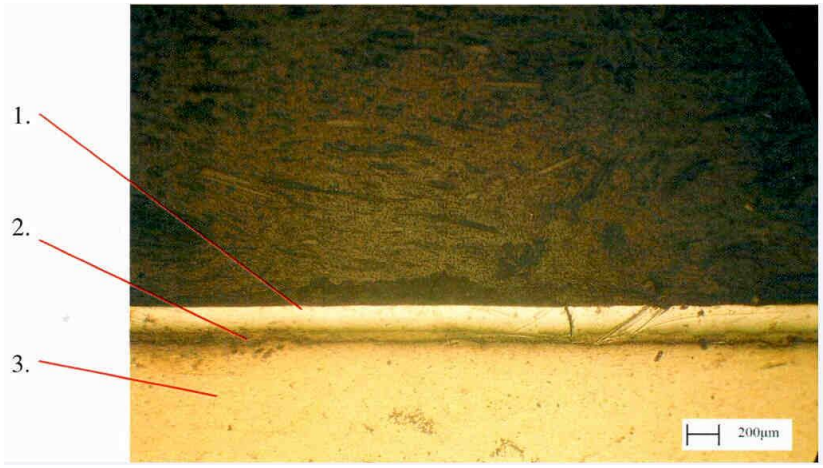


Fig. 4 – The electroplated coatings structure: 1 – electroplated chromium, 2 – electroplated nickel, 3 – base material aluminium

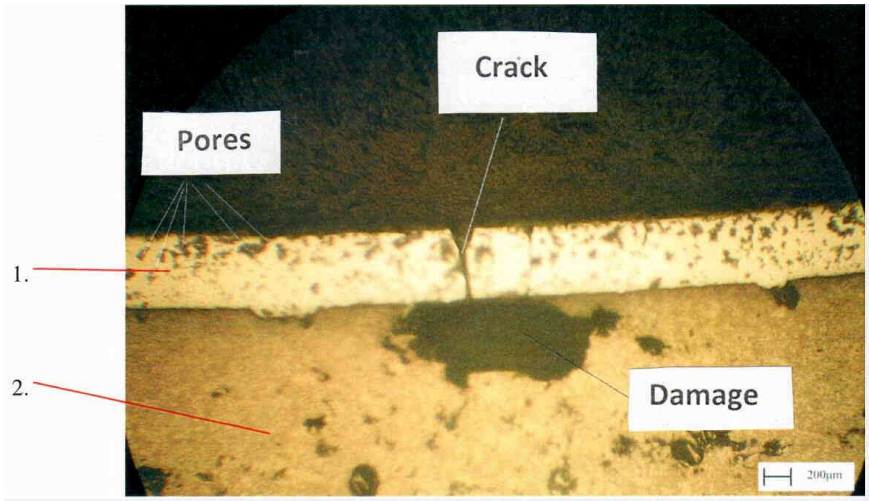


Fig. 5 – The structure of damaged hard chrome coating without bond coat; 1 –hard- chrome coating, 2 – base material (aluminium)

The results of the current research show that the depositing time has to be between 60–90 minutes. Using depositing time more 90 minutes causes appearance of cracks and increases the porosity. Increasing the thickness over 300 µm, causes the need apply more than one layer and before depositing new layer heating the specimens up to 300 ^{o}C and hold steadily for 30 minutes. In figure 7 are shown the defects caused by wrong application parameters.

In the current research was investigated and measured the hardness of coatings as an important factor of sliding wear properties. The results of Vickers hardness are given in Table 3. From the measured data can be followed the dependence of base coat hardness

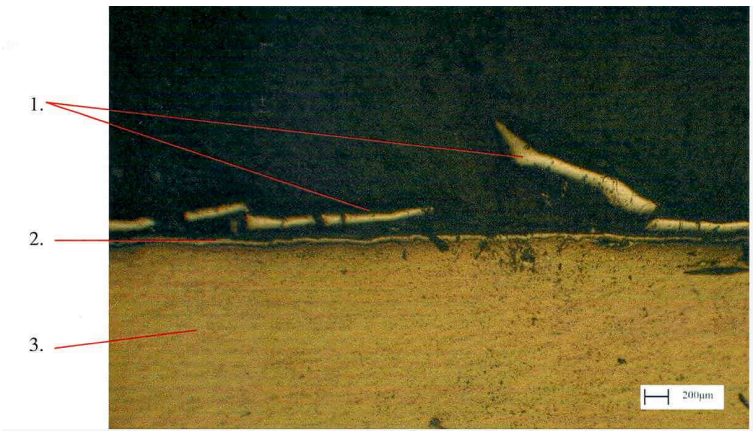


Fig. 6 – The structure of deposited coating with low current density: 1 – hard-chrome coating, 2 – bond coat (nickel), 3 – base material (aluminium)

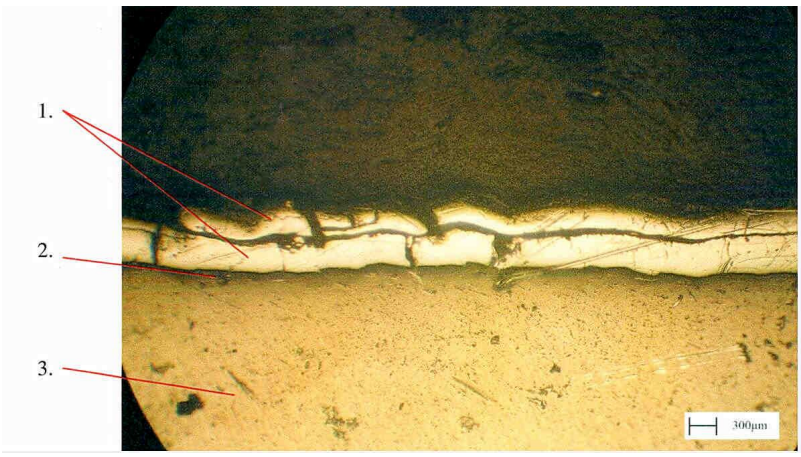


Fig. 7 – The damaged structure of hard-chrome coating: 1 – hard-chrome coating, 2 – bond coat (nickel), 3 – base material (aluminium)

Table 3 – The Vickers hardness of electrochemical coatings

Specimen	Hardness
Base material AlCuMg1	75 HV 3/15
Base coat sprayed copper Top coat hard -chromium	141 H V3/15
Base coat nickel Top coat hard-chromium	269 HV 3/15
Base coat (Aeronickel) [1] Top coat hard -chromium	342 HV 3/15
Commercially coated cilider	407 HV 3/15

[1] – Sifco product SPS 5644

For testing the bond strength were used the bending of sprayed coating. The different results are shown in figures 8–11.

Fig. 8 – The the coating bond strength tested samples

Fig 9 – Al Zn coating (90 deg)

Fig 10 – The tested sample with Cu (45 deg)

Fig 11 – The tested sample with Cu 90 deg)

For renovation worn machine parts and different scratches the first crucial action is to prepare the surfaces. The next step will be filling the scratches or renovate the dimensions with gasdynamic spraying. The sprayed coatings structure are given in figures 12 to 17 below.

Before the electroplating it is needed to machine the surfaces.

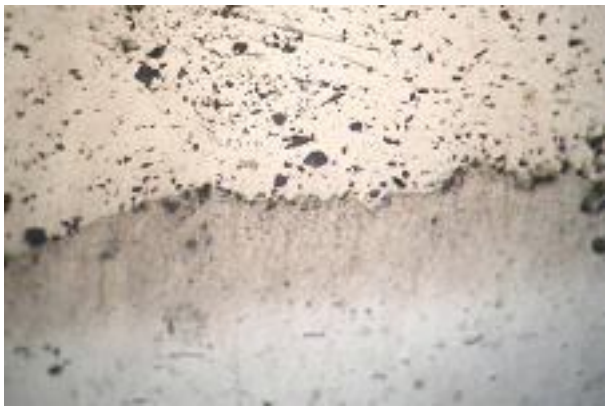


Fig 12. The Ni Zn coating on aluminium

Fig 13. The Ni Zn coating on steel.

Fig 14 The CuZn coating on aluminium alloy

Fig 15. The CuZn coating on steel

Fig 16 – The Ni coating on aluminium alloy

Fig 17 – The Ni coating on steel

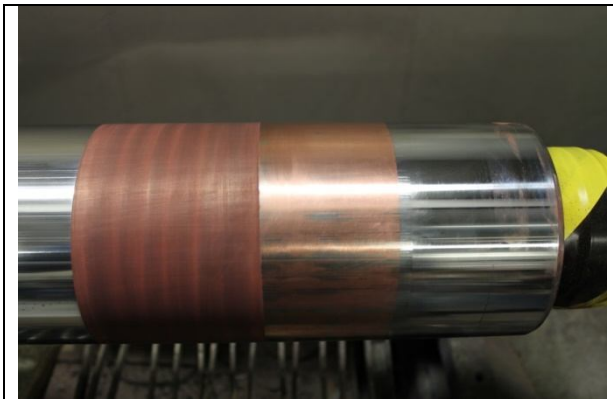


Fig. 18 – The renovated shaft before hard chromium or Nickel coating

Fig. 19 – The renovated scrach in in engine block

Conclusions

The whole plating process where work piece from aluminium alloy was plated with hard chromium coating is described in detail. The research results were obtained in the laboratory.

Overall, it appeared that the galvanization is based on electrolytic process which allows plating decorative, wear-proof and corrosion resistant coatings. It also appeared that during the coating process it is

recommended to use current in the range of 0,5–1,0 A/cm^2 , in order to achieve the best relationship between the porosity and adhesion. Structural studies showed that the hard chromium is by nature a very porous material and if too high current is used while plating the work piece, the number of pores increase rapidly. That as a result causes cracks in coating.

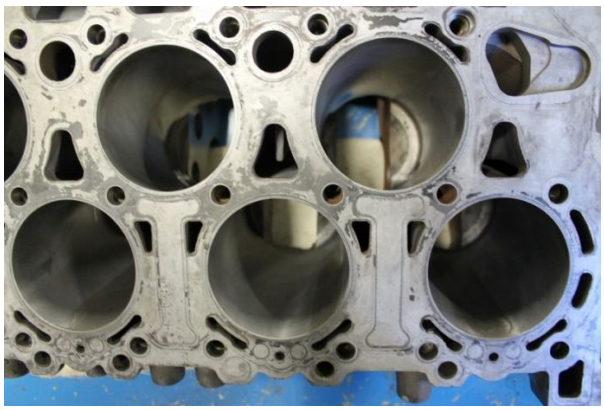


Fig. 20 – Renovated engine block with combined coatings

The research also showed that the thickness of the coating depends on the time of specimen handling. The longer the process lasts, the thicker coating is achieved. However, plating excessively thick coating layer increases internal tensions in plated metal which also cause cracking and chunking.

From the results of micro-hardness tests, which showed 257–336 HV 3/15, it can be concluded that the durability of the coating is very high, so the hard-chromium is suitable for cover the cylinders of engines or repairing defects as shown in Fig. 19 and Fig. 20.

Further investigations could be carried out in the field of electrolytes to get to know their precise formulations, which allows determining the impact of different chemicals on plating results. In addition, the thickness of coating should be investigated due to internal tensions in other words; it is advisable to continue the research to find out how thick layer at a time can be plated to prevent generating excessive internal stresses.

References

1. Rubinstein M. Electrochemical metallizing. – New York: Van Nostrand Reinhold CO, 1986 Caswell Inc. The Complete.

2. SIFCO Process Instruction Manual, 339. – England, 1999.

3. Planting Manual Version 9 UK / Europe (2007).

Полвонов Х.М. Ферганский политехнический
институт, Фергана, Узбекистан

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Проведение дефолиации хлопчатника является одним из важных условий успешной и качественной уборки урожая хлопка-сырца в доморозный период. После дефолиации хлопчатника улучшается аэрация воздуха и тепла, проникновение света в междурядье, в результате чего создаются благоприятные условия для их раннего созревания и раскрытия. Благодаря дефолиации улучшается производительность сбора урожая. Однако, в Республике Узбекистан недостаточно эффективных дефолиантов, получаемых полностью на основе местного сырья. И эта проблема является весьма актуальной.

При производстве кальцинированной соды аммиачным способом наиболее вредным и объемным отходом является дистиллерная суспензия, образующаяся в количестве 8–10 $м^3$ на 1 тонны соды. Это предопределено самой технологией, по которой невозможно достичь полного использования сырья. Дистиллерная суспензия представляет собой раствор хлоридов кальция и натрия, гидроксида и сульфата кальция с общим массовым содержанием компонентов 15–16%.

В настоящее время отходы содового производства полностью сбрасываются в шламонакопители (так называемые "белые моря"), занимающие сотни гектаров земельных угодий и требующие для своего строительства и содержания очень больших капитальных затрат. Кроме того, систематическое накопление жидкости создает дополнительный напор на противофильтрационный экран, что увеличивает ее инфильтрацию из накопителя. При этом возникает угроза загрязнения подземных вод в районе шламонакопителей и попадания вредных веществ в источники водоснабжения, в том числе и питьевого, что может нанести необратимый ущерб, как окружающей среде, так и здоровью человека.

Наличие в составе сточных вод в основном ионов кальция, натрия и хлора обусловливает возможность их сброса в близлежащие открытые водоемы при соблюдении норм ПДК.

Основным способом снижения количества хлоридных отходов содового производства является их переработка с получением товарных продуктов. В настоящее время существуют следующие направления в решении проблемы утилизации отходов: получение из

дистиллерной жидкости хлоридов кальция и натрия; применение дистиллерной жидкости в нефтегазодобывающей промышленности; использование шлама для получения мелиоранта, гидроксида кальция, бесцементого вяжущего и других продуктов. Однако расширение объемов такого способа переработки дистиллерной суспензии сдерживается ограниченным потреблением данных продуктов в народном хозяйстве.

Одним из перспективных способов утилизации дистиллерной жидкости может быть ее использование в качестве сырья для получения высококачественного химически осажденного карбоната кальция, нашедшего широкое применение во многих отраслях промышленности: пищевой, медицинской, косметической, резинотехнической, кабельной, бумажной, лакокрасочной, химической, в производстве пластмасс и полимеров, в сельском хозяйстве [1].

Авторами [2] предложены способы утилизации жидких и твердых отходов содового производства. Обоснована возможность заводнения дистиллерной жидкостью нефтяных месторождений. Описан метод захоронения дистиллерной жидкости закачиванием ее в глубоко залегающие горизонты. Рассмотрены способы использования дистиллерной жидкости в производстве асбестоцементных изделий и для получения белой сажи. Показано, что на основе осадков сточных вод содового производства можно производить строительные материалы, а также тампонажные вяжущие материалы для цементирования скважин со сложными горно-геологическими условиями.

Авторами [3] предложена технология переработки дистиллерного шлама содового производства с использованием природного сульфата натрия для осаждения ионов кальция в виде сульфатов, отличающаяся от известного способа Сольве применением твердого NH_4HCO_3вместо газообразных NH_3 и CO_2 под давлением. По завершению процесса в растворе остается NaCl, в осадок выпадают $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, $CaCO_3$, а также соединения железа, алюминия и тяжелых металлов.

Одним из перспективных способов утилизации отхода содового производства может бить переработка его с получением хлората кальция [4].

Следует отметить, что для физико-химического обоснования процесса получения высокоэффективного дефолианта на основе хлората натрия и хлоридов кальция и натрия необходимо исследовать растворимость в сложной взаимной водной системе $2Na^+,Ca^{2+}//2Cl^-,2ClO_3^-\text{-}H_2O$.

В литературе имеются некоторые сведения по растворимости в отдельных системах, составляющих вышеуказанную систему.

При изучении изотермическим методом растворимости во взаимной водной системе из хлоридов, хлоратов натрия и кальция при 20°С равновесие фаз наступало через 3-4 суток [5]. Исходными точками исследования четверной системы $2Na^{+},Ca^{+2}//2Cl^{-},2ClO^{-}_{3}$-$H_2O$ явились двойные эвтонические растворы граневых тройных систем.

При добавлении третьего компонента фигуративные точки равновесной жидкой фазы передвигались во внутрь концентрированного четырехугольника по линиям разграничения полей шести твердых фаз, заканчивающихся в четырех изотермических нонвариантных точках совместного существования трех различных твердых фаз (рис. 1).

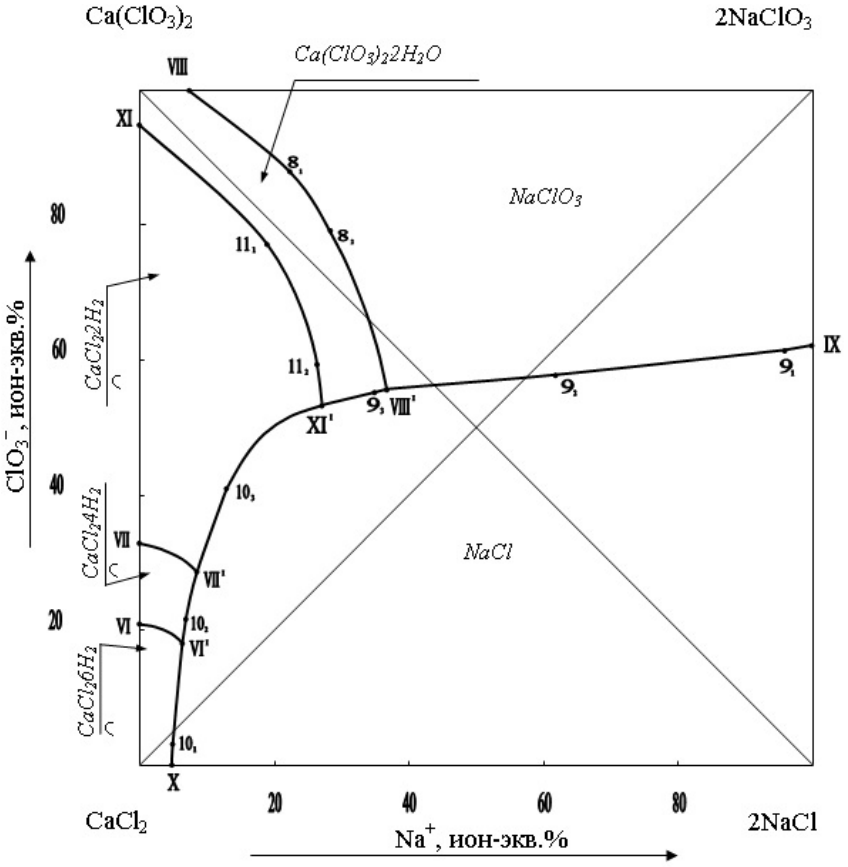


Рисунок 1 – Диаграмма растворимости системы $2Na^{+},Ca^{+2}//2Cl^{-},2ClO^{-}_{3}$-$H_2O$ при 20 °С

Как следует из диаграммы растворимости четверной взаимной системы $2Na^{+},Ca^{+2}//2Cl^{-},2ClO^{-}_{3}$ -H_2O при 20 °С площадь разбита линиями раздела на щесть полей кристаллизации твердых фаз. Поле, разграниченное узловыми точками X-VI'-VI соответствует кристаллизации шестиводного хлорида кальция. Точки VI'и VII'являются тройными и отвечают совместной кристаллизации хлорида натрия с гидратными формами хлорида кальция. Поле между точками VI-VI'-VII'-VII соответствует кристаллизации четырехводного хлорида кальция. Третье поле между точками VII-VII'-XI'-XI соответствует выделению в твердую фазу двухводного хлорида кальция.

Четвертое поле принадлежит двухводному хлорату кальция, которое отдельно от полей других солей точками VIII-VIII'-XI'-XI. Пятое поле принадлежит кристаллизации хлората натрия, которое ограничено точками VIII-VIII'-IX. Шестое поле, занимающее основную часть диаграммы, находится между четырьмя изотермическими нонвариантными (VI'-VII'-XI'-VIII') и двумя моновариантными (IX-X) точками и указывает на кристаллизацию хлорида натрия. Таким образом, в изученной взаимной системе $2Na^{+},Ca^{+2}//2Cl^{-},2ClO^{-}_{3}$ -H_2O при 20 °С образования новых соединений не наблюдается.

При изучении растворимости во взаимной водной системе из хлоратов-хлоридов натрия и кальция при 100 °С равновесие фаз наступало через 3 суток. Исходными точками исследования четверной системы $2Na^{+},Ca^{2+}//2Cl^{-},2ClO_3^{-}$-$H_2O$ явились двойные эвтонические растворы граневых систем.

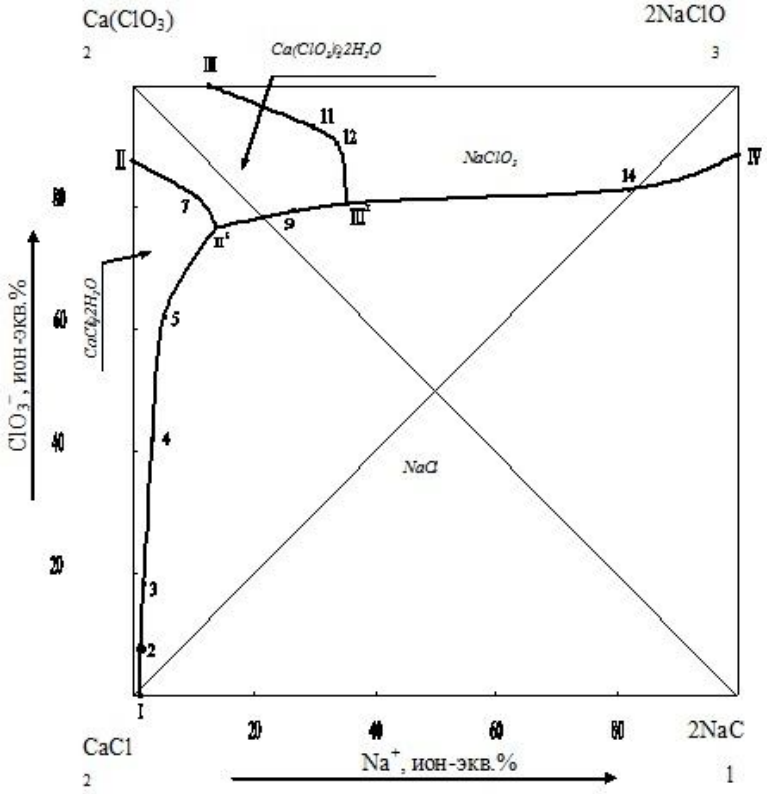


Рисунок 2 – Диаграмма растворимости системы $2Na^{+},Ca^{+2}//2Cl^{-},2ClO^{-}_{3}$-$H_2O$ при 100 °С

При добавлении третьего компонента фигуративные точки равновесной жидкой фазы передвигались во внутрь концентрационного четырехугольника по линиям разграничения полей двух твердых фаз, заканчивающихся в двух изотермических нонвариантных точках совместного существования трех различных твердых фаз (рис. 2), которые были найдены путем построения водных проекций на сторону $CaCl_2$-NaCl.

Как видно из рис. 2, площадь диаграммы растворимости четверной взаимной системы $2Na^{+},Ca^{2+}//2Cl^{-},2ClO_3^{-}$-$H_2O$ при 100°С разбита линиями на четыре поля кристаллизации твердых фаз. Поле разграниченное узловыми точками I-II'-II, соответствует кристаллизации двухводного хлорида кальция. Точка II' является тройной и

отвечает совместной кристаллизации хлоридов натрия и кальция с хлоратом кальция.

Второе поле между точками II-II'-III'-III занимает наименьшей объем и соответствует выделению в твердую фазу двухводного хлората кальция. Третье поле принадлежит хлорату натрия, которое отдельно от полей других солей точками III-III'-IV.

Четвертое поле, занимающее основную часть диаграммы между двумя изотермическими нонвариантными (II'-III') и двумя моновариантными (I-IV) точками, соответствует кристаллизации хлорида натрия. Т.о., в четверной взаимной системе $2Na^+,Ca^{2+}//2Cl^-,2ClO_3^-\text{-}H_2O$ при 100 ^oC образование новых соединений не наблюдалось.

Из приведенных данных видно, что наибольшую часть диаграммы растворимости занимает поле кристаллизации хлорида натрия, которое увеличивается с повышением температуры. Это обуславливает на возможность получения более концентрированного раствора хлората кальция и выделения хлорида натрия в твердую фазу при 100 ^oC.

Литература

1. Перспективные направления утилизации отходов содового производства / Е.А. Михайлова, А.Я. Лобойка, В.И. Молчанов, В.А. Панасенко // Мат. 12-ой межународ. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов», 5-6 февраля 2004 г. г. Харьков. – Харьков, 2004. – С.115–116.

2. Шатов А.А., Дрямина М.А., Бадертдинов Р.Н. Возможные пути использования отходов содового производства // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – т, 12, №5. – С. 581–588.

3. Исследование процесса переработки смеси хлоридов кальция и натрия в присутствии сульфата натрия / В.К. Бешимбаев, Б.Ш. Молдабеков, А.А. Анарбаев и др. // Наука и образование Южного Казахстана. Сер. «Хим., хим. технол. Процессы и аппараты». – 2003. – №35. – С.85–89.

4. Позин М.Е. Технология минеральных солей (Удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). – Л.: Химия, 1974. – ч. II. – 1470 с.

5. Физико-химические исследования получения хлорат кальциевого дефолианта / Х.М. Полвонов, М.К. Аскарова, С.Р. Мирсалимова, С. Тухтаев // Сб. мат. Респ. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы создания и использования высоких технологий переработки минерально-сырьевых ресурсов Узбекистана». – Ташкент, 2007. – С.117–119.

Полянский В.И. ООО “Империя металлов”,
Новиков Ф.В. Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца, Харьков, Украина

УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Основным ограничением повышения производительности механической обработки и обеспечения высокого качества обрабатываемых поверхностей является тепловой процесс, возникающий в процессе резания. В связи с этим актуальна проблема научного обоснования условий уменьшения температуры резания при лезвийной обработке, которая предопределяет стойкость режущего инструмента, производительность и в целом все технико-экономические показатели обработки. Поэтому в работе приведено новое решение задачи аналитического определения максимальной температуры резания и выявлены условия ее уменьшения.

С учетом баланса тепла, уходящего на нагревание поверхностного слоя обрабатываемой детали толщиной l_2 [1] и образующейся стружки, определена максимальная температура резания:

$$\theta = \frac{2\cdot\sigma}{c\cdot\rho}\cdot\frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2\cdot\lambda}{c\cdot\rho}\cdot\frac{1}{S\cdot V\cdot tg\beta\cdot\sin\varphi}}+1\right)} = \frac{2\cdot\sigma}{c\cdot\rho}\cdot z, \qquad (1)$$

где $l_2 = \sqrt{\frac{2\cdot\lambda}{c\cdot\rho}\cdot\tau}$ – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м; σ – условное напряжение резания (энергоемкость обработки), Н/м^2; c − удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ − плотность обрабатываемого материала, кг/м^3; λ − коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К; S – продольная подача, м/об.; V – скорость резания, м/с; β – условный угол сдвига обрабатываемого материала; φ – главный угол резца в плане; $z = \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2\cdot\lambda}{c\cdot\rho}\cdot\frac{1}{S\cdot V\cdot tg\beta\cdot\sin\varphi}}+1\right)}$.

Максимальная температура резания θ определяется произведением отношения $2\cdot\sigma/(c\cdot\rho)$ и безразмерного коэффициента z, который принимает значения, меньшие единицы, изменяющиеся в пределах 0–1. Следовательно, максимальная температура резания θ принимает значения, меньшие или равные отношению $2\cdot\sigma/(c\cdot\rho)$.

Как видно, с увеличением скорости резания V и продольной подачи S безразмерный коэффициент z непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Это указывает на то, что с увеличением скорости резания V и продольной подачи S фактически все тепло, образующееся при резании, уходит на нагревание стружки, а в обрабатываемую деталь уходит небольшая часть тепла. В результате появляется возможность повышения качества обрабатываемой поверхности за счет снижения вероятности образования прижогов, микротрещин, микросколов и других температурных дефектов, возникающих на обрабатываемой поверхности.

Из зависимости (1) вытекает, что на максимальную температуру резания θ оказывают влияние переменные параметры σ, S, V, β, φ и не оказывает влияние глубина резания t. Чем больше параметры σ, S, V, β, φ, тем больше θ, что согласуется с известными экспериментальными данными.

Исходя из зависимости (1), из всех переменных параметров наибольшее влияние на максимальную температуру резания θ оказывает условное напряжение резания σ, которое прямо пропорционально связано с ней. Поэтому, обеспечивая высокую остроту режущего инструмента и снижая интенсивность трения в зоне резания, можно добиться уменьшения θ.

Произведем количественную оценку безразмерного коэффициента z при точении для следующих исходных данных: обрабатываемый материал – сталь ШХ15: λ = 14 Дж/(м·с·град.); $c\cdot\rho$ = $2{,}74\cdot10^6$ Дж/(м^3·град.); S = 0,47 мм/об.; V = 20 м/мин; φ =70°; β = 36°. Расчетами установлено, что z = 0,77. Следовательно, максимальная температура резания θ близка к значению отношения $2\cdot\sigma/(c\cdot\rho)$.

С физической точки зрения отношение $2\cdot\sigma/(c\cdot\rho)$ определяет температуру нагревания образующейся стружки $\theta_{стр}$. Это вытекает из зависимости (1), рассматривая первое слагаемое, стоящее в знаменателе в круглых скобках, равным нулю, т.е. при отсутствии тепла, уходящего в обрабатываемую деталь:

$$\theta_{стр} = \frac{2\cdot\sigma}{c\cdot\rho}. \qquad (2)$$

Следовательно, фактически все образующееся в процессе точения тепло уходит в образующуюся стружку. В обрабатываемую деталь для данных условий обработки уходит небольшое количество тепла, равное 23%.

Экспериментально установлено, что для рассматриваемых условий обработки условное напряжение резания σ =1489,36 Н/мм^2 [1]. Тогда, исходя из зависимости (1), получено: θ = 906,6°, а $\theta_{стр}$ = 1042,6^0, т.е. значения θ и $\theta_{стр}$ отличаются незначительно.

Если не учитывать тепло, уходящее в образующуюся стружку, а считать, что все тепло уходит в обрабатываемую деталь, то зависимость (1) примет вид:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot c \cdot \rho}{\lambda} \cdot S \cdot V \cdot tg\beta \cdot \sin\varphi}. \qquad (3)$$

Используя приведенные выше исходные данные, расчетами на основе зависимости (3) установлено, что θ = 6950,6°. Как видно, данное значение максимальной температуры резания θ значительно больше (в 7,7 раза) значения θ = 906,6°, установленного на основе зависимости (1). Следовательно, неучет тепла, уходящего в образующуюся стружку при точении, существенно снижает точность расчета максимальной температуры резания θ и приводит к физически неосуществимым при резании результатам.

В работе [1] показано, что $\sigma = \sigma_{сж} / tg\beta$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м^2. Подставляя данную зависимость в зависимость (1), имеем:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{tg\beta}{S \cdot V \cdot \sin\varphi}} + tg\beta\right)}. \qquad (4)$$

Из зависимости (4) вытекает, что уменьшение максимальной температуры резания θ происходит в результате уменьшения переменных параметров S, V, φ и увеличения условного угла сдвига обрабатываемого материала β. Однако уменьшение скорости резания V и продольной подачи S не эффективно, т.к. это приводит к уменьшению производительности обработки. Следовательно, основным путем уменьшения температуры резания θ необходимо рассматривать увеличение угла β в результате снижения интенсивности трения резца с обрабатываемым материалом в зоне резания.

Поскольку удельная производительность обработки $Q_{уд} = S \cdot V$, то зависимость (4) можно представить:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{tg\beta}{Q_{уд} \cdot \sin\varphi}} + tg\beta\right)}. \qquad (5)$$

При заданном значении $Q_{уд} = S \cdot V$ основным условием уменьшения максимальной температуры резания θ является увеличение условного угла сдвига обрабатываемого материала β и уменьшение главного угла резца в плане φ. Уменьшить угол β можно за счет снижения интенсивности трения резца с обрабатываемым материалом в зоне резания, применяя, например, высокоскоростную обработку (увеличивая скорость резания V при одновременном уменьшении продольной подачи S, т.е. выполняя условие $Q_{уд} = S \cdot V = const$), а также за счет повышения остроты режущего лезвия инструмента.

Таким образом, определены условия уменьшения максимальной температуры резания. Они состоят главным образом в уменьшении условного напряжения резания (энергоемкости обработки) за счет уменьшения интенсивности трения в зоне резания путем применения высокоскоростного резания, а также за счет уменьшения главного угла резца в плане. Показано, что температура резания с увеличением скорости резания и продольной подачи непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к постоянному значению, равному температуре нагрева образующейся стружки.

Литература

1. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: тр. международ. научн.-техн. конф., 19–20 апреля 2007, г. Харьков. − Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. − С. 8–20.

Посвятенко Е.К., *Аксьом П.А.*, *Мельник О.В.*
Національний транспортний університет, Київ, Україна

ПРО ВПЛИВ ДИСЛОКАЦІЙ НА ФІЗИКО−МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРИТНИХ ТА АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ

Довжина лінії дислокації сягає кілька десятків тисяч періодів гратки, а форма її виходу на поверхню матеріалу може бути прямолінійною, спіральною, петлевою тощо. Усі дислокації характеризуються енергією спотворення гратки. Навколо дислокацій кристалева гратка завжди пружньо спотворена. Критерієм спотво-

рення є вектор зсуву або вектор Бюргерса, що рівний міжатомній відстані. Дислокації утворюються у процесах кристалізації із групи вакансій, холодної пластичної деформації (ХПД) та фазових перетворень. Важливою характеристикою дислокацій є їх густина ρ, що є сумарною довжиною l дислокацій на одиницю об'єму кристалу V ($см^3$). Тобто $\rho = \sum l / V$, $см^{-2}$. У процесі ХПД матеріалу густина дислокацій може вирости три-шість порядків порівняно з цією характеристикою для матеріалу у відпаленому стані. На відомому графіку Одінга ХПД означає рух вправо.

Нами було висловлено дві гіпотези щодо використання дислокацій у технологічних процесах машинобудування. Перша з них – це зниження демпфірувальної здатності сталей, тобто використання дислокацій для гасіння коливань [1]. Інша – підвищення оброблюваності різанням аустенітних сталей, які, як відомо, мають надзвичайну низьку оброблюваність [2]. Це зумовлює високий опір деталей із аустенітних сталей абразивному зношуванню.

Для перевірки цих гіпотез та практичного використання дислокацій у виробах машинобудування, особливо у транспортних засобах, нами використовувались феритні (сталь 20 та армко-залізо) та аустенітні (сталь 110Г13Л, 12Х18Н10Т тощо) матеріали. Ферит та аустеніт, як відомо, це тверді розчини вуглецю у залізі і є зручними для досліджень дислокацій.

Для визначення густини дислокацій (кількості ямок травлення на одиниці площі поверхні зразка) необхідно підрахувати кількість ямок травлення на деякій заданій (відомій) площі поверхні матеріалу.

При підрахунках ямок травлення всередині квадрата або прямокутника ті з них, які цілком знаходяться в межах квадрата або прямокутника, повинні враховуватися повністю (коефіцієнт урахування дорівнює 1), ті ямки, які перетинаються зовнішніми лініями контуру, враховуються в половинній кількості (коефіцієнт урахування дорівнює 0,5), а ямки, на котрі потрапили вершини контуру, враховуються в кількості 1/4 (коефіцієнт урахування 0,25). Таким чином, отримуємо формулу:

$$n = z + 0{,}5w + 0{,}25u, \qquad (1)$$

де n – повна кількість ямок травлення; z – кількість ямок травлення в межах квадратного або прямокутного контура; w – кількість ямок травлення, які перетинаються лініями контура; u – кількість кутових ямок. Площа контура, в якому підраховуються ямки, дорівнює S.

Кількість ямок травлення на одиницю площі (густина дислокацій ρ) дорівнює $\rho = n / S$.

Для отримання надійної середньої величини, яка б характеризувала всю досліджувану поверхню в цілому, необхідно декілька разів провести підрахунок кількості ямок на різних ділянках поверхні матеріалу. У більшості випадків достатньо підрахувати на 5–10 ділянках. Густина дислокацій є статистично перевіреною величиною. Тому отримані результати слід обробити відомими методами математичної статистики [3].

Висновок: Таким чином, дислокації, як лінійні дефекти сталей феритного та аустенітного класів, можуть бути використані для гасіння коливань та підвищення оброблюваності різанням. Для визначення густини дислокацій, їх розподілу і руху при ХПД слід використовувати метод вибіркового травлення.

Література

1. Вплив дискретних покриттів та холодного пластичного деформування на дисипативні властивості матеріалів / Е.К.Посвятенко, А.П.Яковлєв, О.В.Мельник, А.М.Безрукавий // Вісник Національного транспортного університету: в 2–х ч.. – К.: НТУ, 2008. – вип.17. – ч. 1. – С.19–22.

2. Відновлення деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е.К.Посвятенко, П.А.Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Наук.–техн. зб. – К.: НТУ, 2015. – вип. 2 (32). – С.210–221.

3. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперемента. – М.: Наука. – 1976. – 223 с.

Посвятенко Е.К. Національний транспортний університет, Київ,
Сабадаш Б.М. Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Раніше нами було показано [1], що підшипники кочення (ПК) експлуатуються у хімічно активних середовищах, переважно, у рідинах. Обойми та кульки ПК виготовляють із хромистих сталей на

підшипникових заводах за традиційною технологією з фінішною абразивною обробкою. При чому, хоча в останній час на заводах застосовується точна алмазна правка електрокорундових абразивних кругів, все ж ці відповідальні деталі ПК мають мікротріщини. Це знижує їх надійність у роботі. Нами установлено, що "залікувати" мікротріщини можна, застосувавши як фінішну операцію БАТР (безводневе іонно-імпульсне азотування у тліючому розряді). Особливістю БАТР, як сучасного методу інженерії поверхні, є те, що ця операція не потребує фінішних операцій [2]. Їх, у певні мірі з успіхом може замінити приробка ПК у процесі експлуатації машини. Іншою важливою функцією вакуумного покриття обойм та кульок ПК є підвищення твердості цих деталей на кілька одиниць HRC, що також позитивно впливає на зносостійкість і, загалом, на надійність підшипників.

Проте, до цього часу не існувало наукового підходу до дослідження параметрів БАТР стосовно використання процесу у підшипникові промисловості. Першим етапом розвитку такого підходу була розробка математичної моделі процесу.

Для опису об'єкту дослідження, яким є обробка деталей ПК, користуємось кібернетичною системою, яка має назву "чорна скринька".

Параметром оптимізації Y є товщина азотованого шару. Для проведення дослідження необхідно впливати на поведінку "чорної скриньки". Дієві способи такого впливу (X_1 – X_3) називаються факторами. Це – тривалість процесу t, кількість хрому у сталі обойм та кульок, а також співвідношення азоту до аргону у середовищі вакуумної камери.

Математична модель – це рівняння, що пов'язує параметр оптимізації з факторами. У загальному вигляді

$$Y = f(X_1, X_2, X_3) \qquad (1)$$

Фактором називається змінна величина, що може бути виміряна, яка в деякий момент часу набуває певного значення. Фактори відповідають способам впливу на об'єкт дослідження.

Плануючи експеримент, у нашому випадку ми маємо нелінійну модель, у якій один фактор залежить від рівня, на якому знаходить інший фактор.

Розглянемо матрицю повного факторного експерименту 2^3 з нелінійною залежністю між факторами.

У цьому випадку матриця матиме наступний вигляд

№ спроби	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
1	+	–	–	+	+	–	–	+	Y_1
2	+	+	–	–	–	–	+	+	Y_2
3	+	–	+	–	–	+	–	+	Y_3
4	+	+	+	+	+	+	+	+	Y_4
5	+	–	–	–	+	+	+	–	Y_5
6	+	+	–	+	–	+	–	–	Y_6
7	+	–	+	+	–	–	+	–	Y_7
8	+	+	+	–	+	–	–	–	Y_8

Виходячи з даної матриці запишемо рівняння математичної моделі:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + \\ + b_{123}X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Коефіцієнти знаходимо за формулою [3]:

$$b_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_{ji}Y_i \quad (3)$$

Значення Y, тобто товщину азотованого шару, знаходимо з експериментів, маючи величини коефіцієнтів.

Висновок.

Таким чином, нами визначена теоретична частина математичної моделі, що описує вплив часу дії середовища на товщину вакуумного покриття відповідальних деталей ПК, склад цього середовища, а також кількість легуючого елементу – хрому у матеріалі (сталі обойм і кульок). Для подальшого розвитку математичної моделі слід провести серію натурних експериментів.

Література

1. Поліпшення надійності підшипників кочення безводневим азотуванням / Е.К. Посвятенко, Б.М. Сабадаш // Systemy i srodki transportu samochodowego: Wybrane zagadnienia / pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. – Rzeszow: Politechnika Pzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, 2016. – Monografia nr7. – С.273–278.

2. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – 259 с.

3. Бродский В.З. Введение в факторное планирование эксперимента. – М. : Наука, 1976. – 223 с.

Потапьевський А.Г., Бондаренко Ю.К., Артюх К.О.
Институт электросварки им. Е.О. Патона
НАН Украины, Киев, Украина

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕМ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье проанализированы стандарты, где изложены руководящие принципы внедрения системы статистического управления процесами (SPC). Эти руководящие «принципы направлены на увеличение зффективности, возможностей и уменьшение стоимости сварочного производства.

Анализ устанавливает элементы управления планированием, разработкой, выполнением и/или оценкой системы статистического управления процессами. Выполнение этих элементов позволит потребителю и поставщику сварних конструкций считать, что в организации введена всесторонняя и эффективная система SPC. Кроме того, внедряя систему менеджмента качества с целью обеспечения выполнения требований к продукции и услугам в соответствии с ИСО 9001:2015, организация может улучшить инфраструктуру и получать прибыль от внедрения системы SPC.

При этом смысл термина «управление процессом», объединяет традиционные термины «статистическое управление процессом», «алгоритмическое управление процессом» и «методы контроля на основе модели». Существует несколько различных подходов, направленных на сокращение возможных отклонений продукции и процессов в сварочном производстве.

В результате исследования расширяется определение и использование термина «параметр» по отношению к параметру процесса или параметру продукции и признается, что параметр конструкции может быть параметром незавершенной продукции или параметром конечного продукта. В конкретных условиях параметр готовой конструкции может быть эквивалентен характеристике качества продукции. При этом использованы следующие принципы:

- элементы системы указывают, как создать SPC. Определены инструменты и методы, которые, как показывает опыт, полезны для применения этих элементов в процессах изготовления конструкции.

• пользователи системы должны знать, что использование термина «должен» указывает, что:

• среди нескольких возможностей одна или более рекомендуются в качестве подходящих и эффективных, не исключая другие;

• некоторый набор операций предпочтителен, но не обязательно требуется для процесса изготовления, чтобы обеспечить экономический контроль производства конструкции.

Этот способ не указывает требования, которые должны строго соблюдаться для соответствия стандарту и отклонения от которых допускаются.

Статистическое управление процессами (SPC) является способом применения статистических методов и/или статистических или стохастических алгоритмов контроля для достижения хотя бы одной из следующих целей:

• увеличения знаний о процессе сварки;

• регулирования процесса для достижения желаемого поведения технологического процесса;

• уменьшения отклонений параметров готовой продукции или достижения других улучшений работы процесса изготовления сварных конструкций.

Стандарт устанавливает элементы системы SPC для достижения перечисленных целей. Общая экономическая цель - увеличение количества качественной продукции, произведенной процессом при заданном количестве входных ресурсов.

SPC действует наиболее результативно за счет управления отклонениями параметра процесса или незавершенной продукции, который коррелирован с параметром готовой продукции, и/или за счет увеличения устойчивости процесса к этим отклонениям. Параметр готовой продукции одного процесса может быть параметром следующего процесса изготовления конструкций.

SPC касается готовой продукции, он применим к процессам предоставления технических услуг или выполнения операций (например, процессам обработки данных, программного обеспечения обмена информацией или движения материалов) на производстве.

При этом устанавливаются руководящие принципы системы SPC в следующих ситуациях:

• когда возможности поставщика уменьшить изменчивость процессов, связанных с проектом или продукцией, должны быть подтверждены или улучшены для повышения безопасности и сокращения рисков;

• элементы системы выбраны на основе их применимости и уместности по отношению к процессу. Выбор элементов SPC, порядок, в котором организация выполняет эти элементы и степень, в которой элементы применяют, на производстве, зависят от факторов, включающих: требования потребителя и обслуживаемого рынка, особенности конструкции или технических услуг, особенности технологии сварки, характер и быстродействие производственных и других процессов.

Руководство по системам SPC является дополнением к техническим требованиям (на продукцию, испытания или ремонты) и требованиям системы управления качеством. При этом определяются элементы, которые необходимо включать в систему SPC. Целью не является создание однотипных систем статистического управления процессами производства сварных конструкций.

При этом устанавливаются общие принципы, не зависящие от особенностей процесса и области его применения в промышленности для предприятий, осуществляющих SPC. При необходимости в систему SPC могут быть добавлены или удалены из нее некоторые элементы, чтобы акцентировать внимание на тех элементах, применение которых зависит от специфики рынка сварных конструкций.

Систему SPC применять, когда:

• могут произойти изменения или отклонения от требований заданного значения объекта;

• уверенность в соответствии сварной конструкции установленным требованиям на основе испытаний для поставщика возможностей в проектировании, разработке, производстве, установке и/или обслуживании.

Характер и циклы производства, которые могут быть улучшены при внедрении SPC, включают в себя:

• проектирование и разработку, производство, установку и/иди обслуживание (ремонт);

• массовое производство или производство конструкции по техническим условиям заказчика;

• короткий или длинный период изготовления сварной конструкции;

• малое, среднее или крупное производство;

• изготовление отдельных элементов продукции, партий или серийное производство;

• операции в сфере технических услуг (ремонта);

• ручные или автоматизированные методы сварки, сборки, испытаний и обмена информацией о состоянии процесса;

• производство элементов с первого предъявления, устранение брака, переделки, восстановление (ремонта), переработки или утилизация и очистки помещения.

Термин «продукция» включает технические услуги, аппаратные средства, обработку материалов, программное обеспечение.

Выводы:

1. Элементы SPC рекомендуется распространять на методы, применяемые последовательно в операциях процесса, автономно или вне операций процесса, и на выходах процесса.

2. Элементы не ограничиваются применением контрольных карт, моделей данных процесса, включая конкретные распределения или модель корреляции.

3. Элементы SPC могут быть применены для управления процессами независимо от используемой тактики.

4. Применение включает использование автоматического управления для непрерывного и серийного производства сварных конструкций, алгоритмического управления временем поступления и объемами входных ресурсов, процедур, технического обслуживания для небольших объемов выходной продукции и аналитических методов, таких как контрольные карты.

5. Поставщик может использовать статистические, алгоритмические или основанные на моделях методы или комбинацию методов.

6. Выбор методов будет зависеть от данных процесса, «модели работоспособности, процесса, потребностей бизнеса, а также от относительной частоты случайных неизвестных и неслучайных причин отклонений процесса производства конструкций.

Література

1. ИСО 3534-1:1993 Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Вероятность и основные статистические термины

2. ИСО 3534-2:1993 Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 2. Статистическое управление качеством.

3. ИСО 3534-3:1999 Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 3. Планирование экспериментов.

4. ИСО 9000:2005 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

5. ИСО 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования.

6. ИСО 11462!1:2007 Статистические методы. Руководство по внедрению статистического управления процессами. Часть 1. Элементы.

Радько О.В., Науменко Н.О. Національний авіаційний університет,
Мєдвєдєва Н.А. Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Скуратовський А.К. НТУ України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", Київ, Україна

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Досвід провідних міжнародних компаній доводить, що стабільність розвитку бізнесу і підвищення ефективності управління неможливі без активного використання ризик-менеджменту як складової частини системи управління компанією незалежно від її масштабів і специфіки виробництва або надання послуг. Особливо важливим це є для підприємств машинобудівної галузі, яка займає одне з перших місць за масштабами виробництва, об’ємами продукції, що виробляється, за складністю виробничих та організаційних процесів. Чинниками, які підвищують актуальність вивчення проблеми організації управління ризиками на машинобудівному підприємстві є багатогранність форм прояву ризику, неможливість абсолютного уникнення його ймовірності, відсутність універсальних засобів мінімізації ризику та втрат.

У роботі запропонована методика управління ризиками для підприємства машинобудівної галузі, розроблена на підставі узагальнення результатів аналізу положень нормативних документів [1–3] та досліджень ряду фахівців у галузі управління ризиками [4–6].

Методика реалізується у декілька етапів:

1. Початок процесу управління ризиками.
2. Загальне оцінювання ризику.
3. Вироблення управляючих впливів.
4. Реалізація управляючих впливів.
5. Моніторинг та критичне аналізування.

Декомпозиція *першого етапу* виглядає таким чином:

- вибір об'єкта управління ризиками (наприклад, процес або група процесів);
- формування групи експертів (5–10 осіб, які повинні бути компетентні і належним чином поінформовані в галузі функціонування

об'єкта управління ризиками. Наприклад, керівники та споживачі процесів тощо);

- збір вихідної інформації;
- визначення необхідних ресурсів;
- встановлення критеріїв ризику;
- визначення періодичності дослідження.

Другий етап складається з наступних підетапів: ідентифікування ризику, аналізування ризику, оцінювання ризику.

Для ідентифікування ризику експертною групою використовується метод «мозкового штурму» з наступною побудовою діаграми Ісікави, яка виступає в якості методу графічної візуалізації небезпек.

Стадії аналізування та оцінювання ризику полягають у визначенні рівня ризику для кожної виявленої небезпеки, що впливає на процес. Кількісне оцінювання ризиків здійснюють за методом аналізу видів та наслідків відмов FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) з визначенням «пріоритетного числа ризику» – RPN (Risk Priority Number:

$$RPN = S \cdot F \cdot D,$$

де $1 \le S \le 10$ – значимість (оцінка найбільш серйозного наслідку отенційної загрози (ризику) для об’єкту; $1 \le F \le 10$ – відображає ймовірність виникнення конкретного ризику: 1 – для дуже рідко виникаючих загроз (при $p \le 10^{-4}$) і 10 – для постійних загроз (при $p \ge 10^{-1}$); $1 \le D \le 10$ – оцінка можливості виявлення дефекту або причини його появи: 1 – для ризиків, які практично достовірно виявляються і 10 – для ризиків, які практично не можуть бути виявлені.

Складові RPN встановлюють шляхом експертного оцінювання. Узгодженість думок експертів оцінюється за величиною коефіцієнта конкордації Кендалла (W), значення якого може перебувати в діапазоні від 0 до 1. Якщо $W = 0$, то думки експертів не узгоджені, якщо ж $W = 1$, то оцінки експертів повністю узгоджені.

Отримані величини RPN порівнюють з критичним значенням $RPN_{кр}$. Універсальних (для всіх видів діяльності, процесів, проектів) критеріїв вибору $RPN_{кр}$ не існує. Кожна організація вибирає для себе власні методи оцінки і критерії прийнятності рівня ризику. Так, наприклад, у [3] для оцінки «технічних» ризиків (тобто ризиків виникнення відмов в конструкції виробленого виробу і в технології його виготовлення) за методом FMEA приведений наступний критерій: пріоритетне число ризику RPN – не більше 100–125 (де зна-

чення RPN може бути від 1 до 1000). Згідно з даними [6], при виробництві складових автомобільної техніки значення RPN = 70 не потребує, а RPN = 112 вже потребує запровадження запобіжних заходів. Ці дані також стали орієнтирами при визначенні $RPN_{кр}$.

Під час реалізації *третього етапу* методики – вироблення управляючих впливів – необхідно організувати роботу таким чином, щоби розроблені керуючі впливи були адекватні оціненим ризикам, тому що надлишкові заходи часто призводять до значних фінансових втрат. При цьому ступінь зусиль при управлінні ризиками порівнюється з критичністю ризику. Так, якщо встановлені такі рівні ризику – незначний, помірний, критичний та неприйнятний, то наприклад, для помірного ризику такими управляючими впливами можуть бути: прийняття ризику, оцінка доцільності розробки управляючих впливів, у разі розробки управляючих впливів, ризик повинен бути відображений в процесі.

Якщо на етапі вироблення управляючих впливів були виявлені раніше невраховані небезпеки, то необхідно повернутися до стадії ідентифікації небезпек.

Після того, як сформульовані всі плановані дії, що управляють, дана інформація заноситься в зведену табл. 1.

Таблиця 1 – Зведена таблиця FMEA-аналізу для процесу управління ризиками на підприємстві машинобудівної галузі

Вид потенційного ризику	Наслідки потенційного ризику	S	Потенційна причина або механізм	O	Існуючі заходи контролю	D	RPN	Рекомендовані дії щодо управління ризиками	Результати аналізу	
									Виконані дії щодо управління ризиками	RPN

На *четвертому етапі* проводиться впровадження стратегії боротьби з ризиками за допомогою реалізації розроблених управляючих впливів.

На *п'ятому етапі* відбувається моніторинг та критичне аналізування результатів, термінів і витрат на реалізацію запланованих заходів. Якщо вжиті заходи є нерезультативними, необхідно дослідити причини даної нерезультативності і вжити відповідних заходів для усунення даних причин, а також розробити новий план управляючих впливів.

Представлена методика управління ризиками дозволяє забезпечити гнучке управління внутрішніми і зовнішніми ризиками процесів, властивим сучасним умовам функціонування підприємств машинобудівної галузі. Дана методика узгоджена з процесною структурою організації, з функціонуючими підсистемами моніторингу процесів, що забезпечує стабільність і стійкість розвитку підприємства і дозволяє перейти до інтегрованого управління ризиками процесів спільно з функціонуванням системи моніторингу процесів систем менеджменту підприємства.

Література

1. ДСТУ IEC/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику.

2. ДСТУ ISO 31000:2014. Менеджмент ризику. Принципи та керівні вказівки.

3. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.

4. Коваленко, А.В. Управление рисками фармацевтического предприятия: Автореф. дис…канд. экон. наук. – М.: Всерос. акад. внешней торговли, 2009. – 25 с.

5. Руководство по риск-менеджменту / Д.А. Марцинковский, А.В. Владимирцев, О.В. Марцинковский. – СПб.: Береста, 2007. – 331 с.

6. Potentional Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) (Аналіз видів та наслідків відмов). – DaimlerChrysler Corporation: Ford Motor Company: General Motors Corporation, 2001. – 78 p.

Рахматов Г.Р Ферганский государственный университет, Фергана, Узбекистан

СУШКА ХЛОПКА-СЫРЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ежегодно во всем мире изготавливается около 20 млн. тонн хлопка-сырца. В результате получают примерно 6,5–7,0 млн. тонны хлопкового волокна. Для переработки требуется 8–10 месяцев в году. Основная цель процесса сушки уменьшить влажность хлопка-сырца до стандартной величины и очистить от чужеродных ве-

ществ. При переработке хлопка-сырца для получения более эффективного и качественного волокна их влажность должен бить в пределах 8–9% [1].

Обычно, первый сорт хлопка-сырца составляет 9–11% влажности [2]. Поэтому перед джинированием необходимо влажность хлопка-сырца уменьшить до 8–9%. В процессе сушкискорость испарения в волокне и семенах имеет неравномерные значения. Отдельные компоненты хлопка-сырца в зависимости от физического состояния имеют разные значения влажности. Обычно влажность семена (ядро и кожура) выше влажности волокна. Механизм изменения влажности завысить от вида и степени связикомпонент хлопка сырца с влагой. Волокно обычно, имеет механическую связь с влагой. Поэтому она испаряется легко, как испарение из свободной поверхности. Ядра семян во многих случаях физикохимически связаны влагой. Поэтому снижение влажности в компоненте происходиткак в виде испарения, так и в виде течения жидкости, что приведет к уменьшению процесса испарения [3]. Процесс сушки является сложным процессом, в котором обмен тепло и влаги зависит от состояния материала и окружающей среды. Влага материалов в результате теплообмена перемешается в направлении, противоположном потоку тепла. Перенос тепла при сушке влажного хлопка-сырца не только технический процесс, но и завесит от сортности и типа хлопка.

Имеются различные способы сушки и все они опираются на использование горячего воздуха, и требует углеводородных топлив. Следовательно, это приводит к нарушение экологии, расходу энергетических запасов. Кроме того, необходимо использовать также в относительно больших объемах электрической энергии.

Из табл. 1 видно, что при высокой температуре сушильного агента хлопок-сырец нагревается до температуры 120 °С. При этом, из-за сухости, часть волокон обрываются, внутри семени активируется химические и физические процессы, что влияет на качество получаемых продуктов [4].

Таблица 1 – Результаты исследований

Величины	II-сорт С-6524
Время сушки, мин	2,0
Начальная влажность, %	12,4
После сушке, %	11,4
Разницы, %	1,0

Ежегодно в Узбекистане изготавливается 80–85% хлопка-сырца первого сорта. В свою очередь для сохранения естественных качеств хлопкового волокна требуются разработка новых способов сушки сырца.

Нами предложена технология сушки хлопка-сырца с использованием импульсных инфракрасных (ИК) излучений. Для исследования выбраны тип С-6524 выращенныев условиях Ферганской области хлопок-сырец 2-го сорта с влажностью 12,4%. Образцы хлопка-сырца сушили при режиме 60 °С в течении 2 мин (см. табл. 1).

Размещенные в спираль пробного опыта нихром ∅ 10 мм, кварцевая трубка ∅10 мм покрыти функциональной керамикой толщиной 20–40 мкм. Внутри трубки размещена нихромовая спираль. При этом получается импульсные инфракрасные излученияс максимумом на длине волны 16 и 10 мкм которые дали хорошие показатели по качество волокна. В зависимости от содержания влаги изменением технических параметров установки, можно изменить скорость сушки хлопка-сырца.

На основани вышеизложенных можно сделат следуюшые выводы. Сушка хлопка-сырца с помощью импульсных ИК-излучений дает следующих преимуществ:

- в 2 раза, уменьшится потребление электроэнергии;
- исключается использование жидкого топлива;
- сокращается потребление энергии в 4–5 раз;
- технология значительно упрощается.

Литература

1. Хлопок / Э.Т.Шайхов, Н.Нормухамедов и др. – Ташкент, Труд, 1990. – 284 с.

2. Технология переработки хлопка скоординированы "Uzpaxtasanoat" ассоциация "Paxtatozalash НПО": норматив. Акты. – Ташкент, 2012.

3. Исмоилов А., Усмонкулов А. Изменения в структуре хлопка-сырца в процессе сушки семян. – Ташкент, 2007. – С. 51–52.

4. Эгамбердиев А.Э., Ибрагимов Ш.И., Амантурдиев А.Б. Селекция, разведение и биологии. – Ташкент: Наука, 2009. – 128 с.

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Бодунов В.Є. Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

МЕТОДИКА ПРЕЦИЗІЙНОГО ПРЕПАРУВАННЯ БАЛІСТИЧНО ПОШКОДЖЕНИХ ЗАХИСНИХ СКЛОЕЛЕМЕНТІВ

Вибір структури захисного скла, яке складається з шарів силікатного скла різної товщини у вихідному або зміцненому стані, полікарбонату та адгезійних полімерних матеріалів є відповідальною задачею, що базується на результатах балістичних випробувань, які відповідно до STANAG 4569 полягають у трьохкратному ураженні структури скла у вершини рівнобокого трикутника зі стороною 120 + 20 мм.

Для оптимального вибору структури необхідним є детальний аналіз характеру ураження порушених шарів, визначення шару скла, в якому було зупинено кулю, уточнення положення та стану кулі. Для цього розроблено методику прецизійного препарування багатошарових пластин, що включає поступове видалення шарів скла та адгезиву, починаючи з лицьової поверхні, контроль ступеню фрагментації та розмірів уламків скла, оцінку збереження адгезійних шарів та адгезійних зв'язків після кожного ударного навантаження, наявність залишків уламків оболонки та аналіз стану осердя кулі. Механічне пошарове препарування здійснювали також з тильної поверхні склоблоку. Таким чином визначали шари скла, у яких було зупинено ударник та вплив параметрів композитної структури на особливості руйнування ударника, в тому числі його оболонки та осердя. Визначались зони дрібнодисперсного руйнування, розміри сколків та уламків шарів скла, залишкова прозорість блоку. Показана залежність цих параметрів від конструкції композиту, технології триплексування, властивостей адгезійних шарів та стану поверхні і методів модифікації скляних пластин. Важливим параметром слугувала цілісність або характер руйнування тильного шару скла та захисної плівки або шару полікарбонату.

Отримано, що основною причиною руйнування лицьових шарів є контактна взаємодія ударника із композитною структурою з утворенням зони високого тиску в епіцентрі удару. При цьому руйнування є неоднорідним по товщині та площі блоку захисного скла і відбувається з формуванням дрібнодисперсних частинок скла в центрі удару, їх викидом у напрямку, протилежному дії ударника, та уламків скла, що

залишаються в структурі скляних шарів композиту, розмір яких збільшується при віддаленні від епіцентру удару. У центральній частині (на глибині 2–3 шарів скла) утворюється конусна пробка зони всебічного стискання, заповнена стиснутим скляним порошком з частинками полімеру, яка за відсутності пробою містить уламки ударника. За певних умов при першому ураженні уламки і осердя ударника викидаються разом з частинками скла назустріч удару. При достатній стійкості захисної структури під зоною стискання залишаються ушкоджені, але не пробиті шари із збереженими адгезійними зв'язками. Тильна сторона характеризується наявністю значної за розмірами зони дрібнодисперсного руйнування скла, утвореної за механізмами відколу. Геометрія, розміри та характер руйнування цієї області значною мірою визначають опір руйнуванню захисного блоку при наступному ударному навантаженні.

Застосування прецизійного пошарового препарування дозволяє з точністю встановити глибину проникнення кулі, яка є важливим параметром ударної стійкості захисного скла. В таблиці 1 представлені значення глибин проникнення h_n при випробуваннях багатошарових блоків типу I 3300×300 мм товщиною $h_з$ = 50 мм (складений за технологією полімерної заливки) та типу II 300×300 мм товщиною $h_з$ = 42 мм (складений за автоклавною технологією). Випробування зі стрілецької зброї автомату АКМ кулею калібру 7,62 мм гвинтівкового набою 57-Н-231 з початковою швидкістю 740 м/с проводилось за схемою, коли балістичне ураження здійснюється в вершини рівнобокого трикутника зі стороною 120 + 20 мм, що відповідає вимогам STANAG 4569. Дистанція стрільби 60 м. Місце запланованого ураження помічалося наклейкою.

Таблиця 1 – Глибина проникнення куль при балістичних випробуваннях

Тип блоку	Зброя та засіб ураження	№ пострілу	Глибина проникнення кулі h_n,мм	Відносна глибина проникнення $h_n/h_з$
II	АКМ, куля 7,62 мм	1	17	0,405
		2	33	0,78
		3	35	0,84
I	АКМ, куля 7,62 мм	1	29	0,57
		2	47	0,95
		3	50	Пробій

На діаграмі (рис. 1) зображено визначені в результаті препарування відносні значення глибини проникнення кулі $h_n/h_з$.

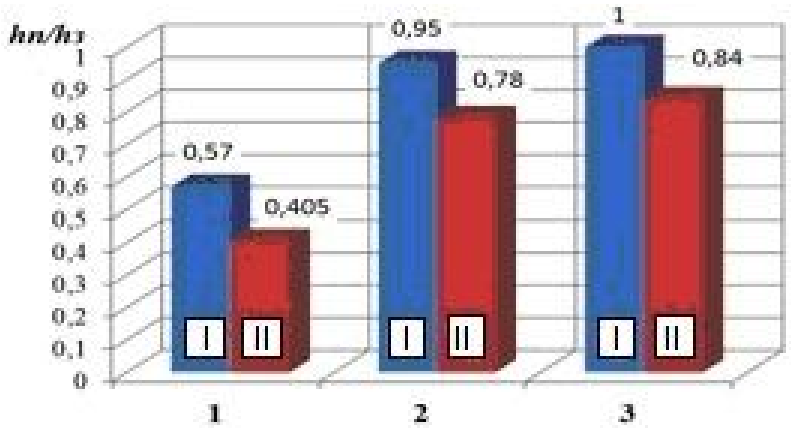


Рисунок 1 – Порівняння глибини проникнення кулі від пострілу до пострілу для захисних елементів типу I та II при балістичних випробуваннях (куля 7,62 мм, автомат АКМ)

Отримані результати показали, що ресурс блоку I, складеного за полімерною технологією вичерпано більше ніж на половину після першого пострілу і майже вичерпано вже на другому пострілі. З цієї точки зору, пробій на третьому пострілі є закономірним результатом. Блок II, складений за автоклавною технологією має достатній залишковий ресурс.

Запропонована методика дозволяє встановити закономірності накопичування пошкоджуваності від удару до удару, отримати додаткову, порівняно із стандартними методиками випробувань, інформацію, необхідну для оцінки і прогнозу опору руйнуванню при ударному навантаженні багатошарових композитних блоків на основі скла, оптимізації структури, складу, товщин елементів захисного скла, вибору технології триплексування і зміцнення скла відповідно до технічних вимог до захисного скління при багатократному ударному навантаженні.

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Шабетя А. А.
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка
НАН України, Київ, Україна

МЕТОД КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНГО СТАНУ БАЛІСТИЧНО ПОШКОДЖЕНИХ БАГАТОШАРОВИХ СКЛОЕЛЕМЕНТІВ

Зростання інтенсивності умов польотів цивільної авіації та експлуатація літальних апаратів в умовах терористичних загроз та бойових дій призводять до підвищення вимог щодо міцності, довговічності та надійності авіаційного скління. Основою такого силового

скління є багатошарові світлопрозорі елементи, які представляють собою склополімерні ламіновані блоки з листового скла, неорганічних прозорих елементів та органосилікатні структури, які містять комбінацію неорганічних та органічних елементів. Головними особливостями руйнування багатошарових світлопрозорих елементів літальних апаратів при ударах твердими предметами, кулями та осколками є неоднорідність порушення скляних шарів і адгезивів по площі та товщині елементів; раптове критичне зменшення несівної здатності і жорсткості багатошарового скління; невизначеність механічної поведінки після ураження.

Важливою відмінною вимогою до скління літальних апаратів є необхідність забезпечення живучості в умовах «закритичного», з точки зору підходів традиційної механіки, стану. Наразі не існує методик визначення характеристик «залишкового опору» багатошарових елементів (поліплексів) після крихкого руйнування і порушення суцільності скляних силових елементів та адгезійної міцності в зоні інтерфейсу «скло–полімер».

Це обумовлює необхідність розвитку експериментальних та експериментально-розрахункових методів оцінки міцності та ресурсу багатошарових світлопрозорих елементів, які враховують особливості поведінки багатошарової структури при статичних та динамічних впливах з урахуванням пошкоджуваності та визначення фізико-механічних властивостей, що характеризують поведінку багатошарових склополімерних композитів.

Для оцінки залишкового ресурсу в багатошарових структурах після ударного навантаження запропоновано методику визначення жорсткості при поперечному згинанні пластини з балістичним ураженням без пробиття.

Випробування здійснювались на устаткуванні ZD 40 за схемою трьох точкового згину, відстань між опорами становила 240 мм. Під навантажувальним пристроєм послідовно розташовано максимально порушену область в місці безпосередньої дії ударника (рис. 1, *а*) таким чином, щоб тильна менш пошкоджена сторона склополімерної пластини опинилась в зоні розтягу для визначення можливостей залишкового опору структури та область, яку називаємо «умовно непорушеною», з віддаленими ознаками структурної деградації (рис. 1, *б*). Випробовувались блоки розмірами 400×200 мм товщиною 43 та 45 мм, складені за вакуумною технологією з адгезійними шарами з плівки EVA товщиною 0,63 мм, з наступними структурами блоків, які включали шари скла (СК) та полікарбонату (ПК): 4С/4ПК/4С/4ПК/4С/4ПК/4С/4ПК 4С/4С (структура I), та 5С/4ПК/5С/5С/5С/5С/4ПК/5С/5С (структура II).

а *б*

Рисунок 1 – Випробування гнутого блоку багатошарового захисного скла по схемі трьохточкового згину:

а – порушеної частини; *б* – «умовно непорушеної» частини

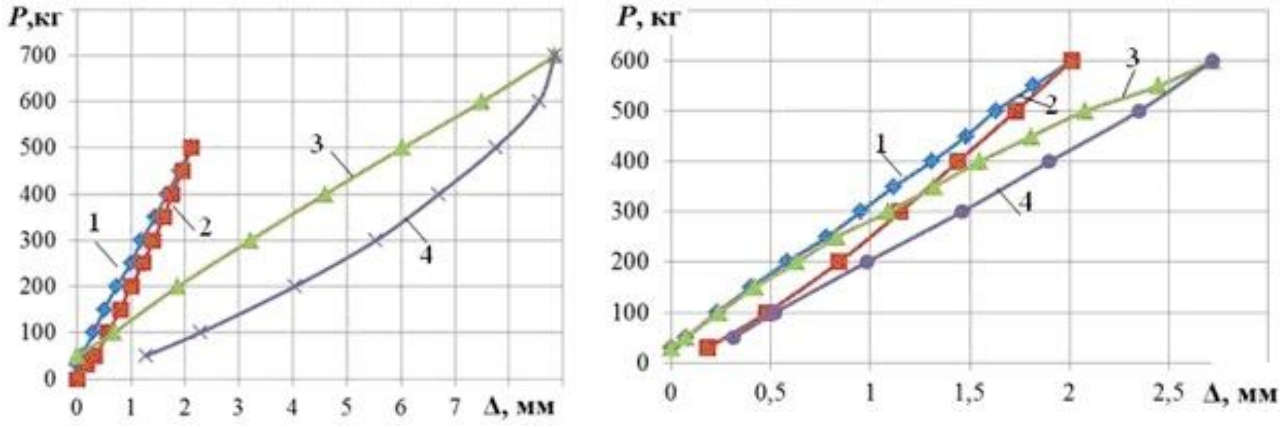
Аналіз кривих деформування блоку структури I, яка містила чотири шари полікарбонату показав лінійний характер залежності навантаження–прогин (P–Δ) (рис. 2, *а*). На етапі розвантаження балістично порушена структура виявляє значну нелінійність. Жорсткість балістично порушеної структури значно перевищує жорсткість «умовно-непорушеної» області. Аналіз кривих деформування багатошарової пластини структури II також показав зменшення жорсткості балістично порушеної структури (рис.3, *б*).

Визначено січні ефективні модулі пружності E_{ef} досліджуваних структур при максимальному навантаженні. Для «умовно непорушеної» структури II E_{ef}= 566МПа, а балістично порушеної частини становив 437МПа. Для структури I E_{ef} «умовно непорушеної» структури становив 519 МПа, а балістично порушеної частини – 172 МПа. Для всіх «умовно непорушених» областей досліджуваних структур січні ефективні модулі пружності на 2 порядки менше модуля пружності скла, що пов’язано з впливом низькомодульних елементів структури у вигляді адгезійних плівок та полікарбонату, а також віддаленою структурною деградацією.

Для структури II, яка містить 4 шари полікарбонату в «умовно непорушеному» стані E_{ef} на 10% нижче, ніж для пластини з двома шарами полікарбонату.

Січні ефективні модулі пружності для балістично порушеної структури пластини з чотирма шарами полікарбонату менше в 2,5 рази, ніж для пластини з двома шарами ПК. Це показує, що забезпе-

чення жорсткості структури, в тому числі залишкової, принципово залежить від механічної поведінки силових шарів зі скла.



а *б*

Рисунок 2 – Залежність навантаження-прогин (1, 2 – навантажувальний пристрій на «умовно непорушеній» зоні), (3, 4 – навантажувальний пристрій на балістично порушеній зоні) при навантаженні з розвантаженням порушеної після однократного балістичного випробування багатошарових склополімерних пластин зі структурою: С/4ПК/4С/4ПК/4С/4ПК/4С/4ПК/4С/4С (*а*), 5С/4ПК/5С/5С/5С/5С/4ПК/5С/5С (*б*)

Запропонована методика визначення механічної поведінки багатошарових склополімерних структур у вихідному та пошкодженому в результаті попереднього ударного навантаження стані є основою для отримання нових результатів щодо механічної поведінки багатошарових структур елементів літальних апаратів, необхідних для вдосконалення конструкцій та технологій багатошарового скління авіаційної техніки.

Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю., Олійник В.Г.
НТУ України «Київський політехнічний інститут
ім. І. Сікорського», Київ, Україна

ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ

Забезпечення високих параметрів надійності, працездатності та зносостійкості високошвидкісних друкарських машин, таких, як КВА «Rapida−105», «PLAMAG Rondoset RO 170», «STAR BINDER

1509» та ін., їх вузлів і деталей у широкому спектрі умов експлуатації від нормальни до екстремальних (швидкості обертання до 1600 об/хв., навантаження 3−8 МПа) є необхідною умовою не тільки стабільної роботи зазначеної техніки, але й одержання високої якості друкарської продукції.

Створення нових композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації [1, 2] з широким використанням як основи для них утилізованих та регенерованих шліфувальних відходів інструментальних сталей переконливо довело наявність стабільно високих триботехнічних властивостей цих композитів [2].

Технологічні засади виготовлення та прецизійної механічної обробки нових композитних підшипників наведені у роботах [1, 2]. Було доведено, що на строки служби підшипників ковзання з нових композитів впливають показники якості поверхонь оброблення, а саме, шорсткість поверхні *Ra* та параметри наклепу поверхневого шару. З цієї точки зору висувались задачі досягнення величин мінімальної шорсткості *Ra* поверхонь оброблення, яка є передумовою високих функціональних властивостей підшипників. Тому були створені технологічні процеси, де фінішна абразивна обробка здійснювалась методами тонкого абразивного та алмазного шліфування, а також методами магнітно-абразивного оброблення [1, 2]. На жаль, досліджень одного з найважливіших параметрів якості обробленої поверхні, яким єглибина та ступінь наклепу практично нема, тому тема роботи є актуальною і потребує проведення комплексу досліджень.

Метою роботи є встановлення науково-обґрунтованих режимів тонкого алмазного шліфування робочих поверхонь самозмащувальних композиційнихпідшипників ковзання, синтезованих на основі утилізованих та регенерованих шліфувальних відходів інструментальної сталі 86Х6НФТз домішками твердого мастила CaF_2. Ці режими різання повинні забезпечити відповідні параметри якості прошліфованих поверхонь та забезпечити необхідний рівень експлуатаційних властивостей вузлів тертя високообертового друкарського обладнання.

Результати експериментальних досліджень параметрів зміцнення поверхневого шару при тонкому алмазному шліфуванні зразків з нових підшипникових матеріалів наведені у табл. 1−3. У всіх випадках режими шліфування: однопрохідне плоске з виходжуванням, верстат FF−250 “Abawerk” (ФРН), швидкість кругу $V_{кр}$ = 22 м/с, швидкість виробу $V_{в}$ = 2 м/хв., глибина різання t = 2 мкм, охолодження−3%

розчин содової емульсії.Для порівняння використовували круг 63С10Гл з карбіду кремнію зеленого (63С) на гліфталевий зв'язці (Гл). Величина Δа/а – спотворення 2-го роду; $H_д$ – мікротвердість деталі за Віккерсом; К – ступінь наклепу ($H_д/H_з$); показники наклепу зразків без обробки складали $Δa/a \cdot 10^{-4} = 0$, $H_з = 3600$ МПа.

Таблиця 1 – Залежність наклепу від матеріалу зв'язки кругу при алмазному шліфуванні зразків із сплаву 86Х6НФТ+5%CaF_2

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Зв'язка інструменту	Параметри наклепу		
			$Δa/a \cdot 10^{-4}$	$H_з$, МПа	К
АС5К1 100%	50	керамічна	21–22	4190	1,16
АС5М1 100%	50	металева	20–22	4290	1,19
АС5Бр1 100%	50	бакелітно-гумова	19–20	4120	1,14
АС5Бр2 100%	50		19–21	4200	1,17
АСМ28К1 100%	28	керамічна	18–19	3900	1,08
АСМ28Бр1 100%	28	бакелітно-гумова	16–17	3850	1,07
АСМ14К1 100%	14	керамічна	13–15	3800	1,05
АС5М14Бр1 100%	14	бакелітно-гумова	12–14	3710	1,03
АСМ14М1 100%	14	металева	15–17	3750	1,04
АСМ10К1 100%	10	керамічна	13–16	3700	1,02
АСМ10Бр1 100%	10	бакелітно-гумова	10–12	3650	1,01

Примітка: Шліфувальні круги з синтетичного алмазу (АС) на керамічній (К1), металевий (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1, Бр2) зв'язках зі 100%-ю концентрацією алмазу.

Аналізуючи дані табл. 1−3, видно, що при визначенні залежностей утворення наклепу при тонкому шліфуванні деталей з нових композитних матеріалів виявлено наступні закономірності: обробка кругами на еластичних зв'язках забезпечує менший наклеп, ніж обробка на жорсткій керамічній (К1) та металевій (М1) зв'язках: спотворення ІІ роду Δа/а, мікротвердість $H_д$ та ступінь наклепу більші при застосуванні шліфувальних інструментів на жорстких зв'язках. Також слід відзначити схожість цієї залежності як при застосуванні крупнозернистих, так і дрібнозернистих шліфувальних інструментів.

Таблиця 2 – Залежність наклепу від матеріалу алмазного зерна при шліфуванні зразків зі сплаву 86Х6НФТ+5%CaF_2 крупнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Зернистість, мм	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
		$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_з$, МПа	К	
АС10Бр1 100%	100	21,5–22,5	4350	1,20	емульсія
А10Бр1 100%	100	21–22	4300	1,15	емульсія
АС5Бр1 100%	50	19–20	4120	1,14	емульсія
АС5Бр1 100%	50	18–19	4080	1,13	емульсія
А5М1 100%	50	19,5–21	4120	1,14	емульсія
А5К1 100%	50	19–19,5	4100	1,14	емульсія
А5К1 100%	50	20–20,5	4200	1,17	без охолодження
А5М1 100%	50	20,5–21	4270	1,18	без охолодження
63С10Гл	100	23,7–24	5400	1,50	емульсія

Примітка: Шліфувальні круги з алмазу синтетичного (АС) та алмазу природного (А) на керамічній (К1), металевий (М1) та бакелітно-гумовій (Бр1) зв’язках зі 100%-ю концентрацією алмазу.

Таблиця 3 – Залежність наклепу від матеріалу зерна при алмазному шліфуванні зразків матеріалу 86Х6НФТ+5%CaF_2 дрібнозернистими кругами

Абразивний інструмент	Параметри наклепу			Охолодження при обробці
	$\Delta a/a \cdot 10^{-4}$	$H_з$, МПа	К	
АСМ28БР1 100%	16,5–17,5	3870	1,07	емульсія
АСМ28БР1 100%	17–8	3910	1,08	без охолодження
АМ28БР1 100%	16–17	3850	1,06	емульсія
АМ28БР1 100%	17–17,8	3900	1,08	без охолодження
АСМ20БР1 100%	15–16,5	3810	1,05	емульсія
АСМ14БР1 100%	12–14	3710	1,03	емульсія
АМ14БР1 100%	12–12,5	3695	1,02	емульсія
АСМ10БР1 100%	10–12	3650	1,01	емульсія
АСМ10БР1 100%	11–11,5	3720	1,03	без охолодження
АМ10БР1 100%	10,5–11	3680	1,02	емульсія
АМ10БР1 100%	11,5–12,5	3700	1,03	без охолодження
63СМ14Гл	23–23,5	4140	1,15	емульсія

Примітка: Шліфувальні круги з алмазу синтетичного (АС) та алмазу природного (А) на бекалітно-гумовій (Бр1) зв’язках зі 100%-ю концентрацією алмазу.

На основі виконаних досліджень, можна дійти висновку, що при тонкому алмазному шліфуванні нових композитних матеріалів відбуваються складні процеси зміцнення та відпочинку тонкого шару поверхонь тертя нових підшипників ковзання, які впливають на показники стійкості та довговічності. Знання закономірностей утворення наклепу дозволить оптимізувати режими різання, створювати ефективні технологічні процеси для виробництва.

Подальші дослідження процесу тонкого алмазного шліфування нових композитних деталей на основі шліфувальних відходів будуть спрямовані на встановлення залежності ступеню наклепу К від зернистості інструменту при алмазному шліфуванні кругами з синтетичних алмазів (АС) на еластичній бакелітно-гумовій зв'язці (Бр1) та визначення параметрів наклепу на різних рівнях наклепаної зони при алмазному шліфуванні зразків з досліджуваних матеріалів.

Література

1. Новітні композиційні матеріали деталей тертя поліграфічних машин / П.О. Киричок., Т.А. Роїк, А.П. Гавриш та ін. − К.: НТУУ «КПІ», 2015.− 428 с.

2. Прецизійна доводка та полірування деталей поліграфічних машин з високолегованих композитів / А.П. Гавриш, П.О. Киричок, Т.А. Роїк та ін. − К.:НТУУ «КПІ», 2016.− 498 с.

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Покрасина Е.М. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 30ХГСА

Сталь 30ХГСА относится к классу конструкционных легированных (хромокремнемарганцевых) сталей и используется в основном при производстве оборудования, эксплуатация которого не предполагает сильного нагревания. В частности сталь используется при изготовлении валов, осей, зубчатых колес, фланцев, корпусов, лопаток компрессорных машин, работающих при температуре до 200 ^{0}С, ответственных сварных конструкций, работающих при знакопеременных нагрузках.

Исследованная сталь используется как в отожженном (охлаждение от 880 °С с печью), так и в закаленном состояниях (нагрев до температуры 880 °С с последующим охлаждением в масло [1]). Поэтому, представляет интерес исследование температурной зависимости микротвердости для оценки температурных границ использования стали в закаленном состоянии.

Исследование микротвердости поверхностных слоев конструкционных материалов производилось в микродиапазоне методом непрерывного индентирования в соответствии с международным стандартом ISO-14577 [2–5] на автоматической (с полным компьютерным управлением) установке последнего поколения NanoTest платформы-3 (Англия), позволяющей проводить испытания механических свойств поверхностей и их покрытий в диапазоне температур от комнатной до 500 °С в микро- и нанодиапазонах. В работе использовался индентор Берковича. Длительность этапа нагружения составляла 20 с, длительность выдержки при максимальной нагрузке – 20 с, общая длительность этапа снятия нагрузки без учета выдержки на квазиупругое восстановление отпечатка (при $P = 0{,}1P_{max}$) составляла 20 с, длительность выдержки на квазиупругое восстановление отпечатка – 60 с. Максимальная нагрузка на инденторе задавалась постоянной и равнялась 700 мН. Глубина индентирования в микродиапазоне зависела от твердости материала и температуры испытания и находилась в диапазоне 4–10 мкм. Последующая математическая обработка диаграмм нагружения (*P*-*h*-диаграмм) осуществлялась по методу Оливера-Фарра [6, 7], признанному в мировой практике испытаний наиболее точным.

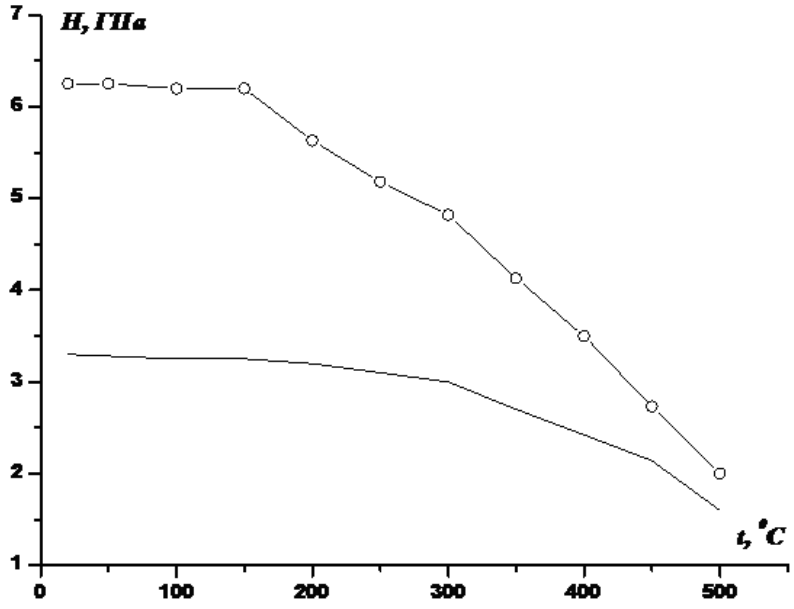


Рисунок 1 – Микротвердость стали 30ХГСА
(○ – закаленный образец)

Химический состав стали 30ХГСА по данным [8] в масс. %:
C – 0,28–0,34; Si – 0,9–1,2; Mn – 0,8–1,1; Ni ≤ 0,3; S ≤ 0,025;
P ≤ 0,025; Cr – 0,8–1,1; Cu ≤ 0,3.

На рис. 1 приведены результаты экспериментального исследования микротвердости стали 30ХГСА, где видно, что закалка образца [1] приводит к заметному повышению микротвердости стали. Однако при повышении температуры микротвердость резко уменьшается и при температуре ~ 500 °С практически совпадает со значениями для отожженного образца. С этим связано использование исследованной стали в узком температурном диапазоне (до ~ 200 °С).

Математическая обработка методом наименьших квадратов опытных данных позволила получить аппроксимирующие уравнения в виде:

- отожженный образец – $H = 3{,}30–2{,}78\cdot10^{-4}t + 2\cdot10^{-6}t^2 – 1{,}6^{-8}t^3$;
- закаленный образец – $H = 6{,}26–4{,}6\cdot10^{-4}t$ (20–150 °С);
- закаленный образец – $H = 7{,}01–0{,}004t – 1{,}2\cdot10^{-5}t^2$ (150–500 °С).

Литература

1. Марочник сталей и сплавов / Под общей ред. А.С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.

2. ISO 14577–1:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method. Geneva: ISO Publ., 2015. 46 p.

3. ISO 14577–2:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 2: Verification and calibration of testing machines. Geneva: ISO Publ., 2015. 25 p.

4. ISO 14577–3:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks. Geneva: ISO Publ. 2015. 8 p.

5. ISO 14577–4:2007. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings. Geneva: ISO Publ., 2007. 24 p.

6. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – V.7, №6. – P. 1564–1583.

7. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / J. Mater. Res. – 2004. – V.19, №1. – P. 3–20.

8. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. ГОСТ 4543-71. – М.: Издательство стандартов, 1996. –49 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-08-00645а).

Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ВЫСОКОПОРИСТЫМИ КРУГАМИ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОРУНДА

В последнее время появились эффективные рецептуры и технологии изготовления высокопористого абразивного инструмента, изготовляемого из современных монокристалллических электрокорундов. Особенно эти технологии проявляются в процессах зубошлифования, которые оказывает непосредственное влияние на формирование качества поверхности и поверхностного слоя зубьев. Отсутствие результатов испытаний таких кругов сдерживает их широкое внедрение в производственную практику на зубошлифовальных станках с ЧПУ, поскольку нет методик по выбору режимов зубошлифования и правки высокопористых кругов.

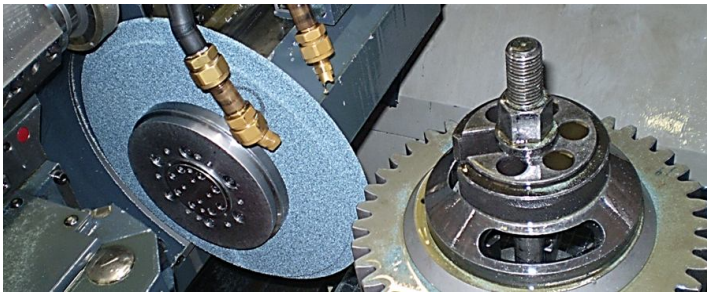


Рисунок 1 – Установка шлифовальных кругов 3SG46Hs12VS на зубошлифовальном станке с ЧПУ HÖFLER RAPID

Для более широкого исследования процесса зубошлифования нами были проведены испытания высокопористых кругов при шлифовании зубчатых колес из монокристаллического электрокорунда производства фирмы «BEST-BUSINESS a.s.» (Чехия) размером 400×32×127 и характеристикой 3SG46Hs12VS. Шлифование зубчатых колес производилось на зубошлифовальном станке с ЧПУ мод. HÖFLER RAPID 1250 (рис. 1). Испытание высокопористого шлифовального круга из монокристаллического электрокорунда (3SG46Hs12VS) производили в сравнении с шлифовальным кругом из белого корунда (25A46L6V, производитель ВАЗ). При испытаниях фиксировали мощность зубошлифования и точность обработанных зубчатых колес.

Испытания монокристаллического круга проводили при шлифовании двух зубчатых колес одного и того же типоразмера. Наружный диаметр d_a = 233,4 мм; число зубьев z = 29; модуль m =7; угол наклона зубьев β = –18°; смещение x = 0,545; ширина венца B = 60 мм. Припуск на обработку t = 0,510 мм. Число этапов обработки – 3 (черновой, получистовой, чистовой).

Результаты замера мощности зубошлифования обычным кругом 25А46L6V и монокристаллическим кругом 3SG46Hs12VS показали значительное снижение мощности шлифования с 1800 (обычный круг) до 560 Вт (монокристаллический круг). Для чистового шлифования (этап 3) изменение мощности составляло от 1300 (обычный круг) до 400 Вт (монокристаллический круг).

Результаты измерений параметров точности зубчатых колес показали повышение точности обработки, например, по параметрам профиля зуба F_α – с 4,0 (обычный круг) до 3,5 мкм (монокристаллический круг), а по параметрам линии зуба F_β – с 8,5 (обычный круг) до 5,0 мкм (монокристаллический круг).

Выводы

1. Мощность шлифования на этапе 2 на 30,9% ниже у монокристаллического круга 3SG46Hs12VS по сравнению с обычным кругом 25А46L6V (ВАЗ). Мощность шлифования на этапе 3 у монокристаллического круга на 72,5 % ниже.

2. По результатам окончательного контроля погрешности профиля и линии зуба преимущество в целом после шлифования у монокристаллического круга. Индивидуальная погрешность шага f_p, накопленная погрешность шага F_p по левой и правой сторонам впадин и радиальное биение F_r более, чем в 3 ниже после шлифования монокристаллического кругом по сравнению с обычным кругом ВАЗ.

3. Шлифовальные круги из монокристаллического корунда 3SG46Hs12VS можно рекомендовать для обработки зубчатых колес, так как они обеспечивают уменьшение мощности зубошлифования и лучшие показатели по точности обработки.

Сорочак О.З., Гвоздь М.Я. Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ РЕИНЖИНИРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Конкурентные преимущества продукции можно оценивать такими интегральными показателями:

- качество продукции (совокупность ее свойств и характеристик, которые дают возможность удовлетворять определенную потребность потребителя);

• цена продукции (низкие затраты производства благодаря использованию эффекта масштаба, высокий уровень унификации и стандартизации, безотходная технология, высокая конкуренция поставщиков);
• затраты потребителей продукции (меньшие сравнительно с конкурентами относительные затраты ресурсов на эксплуатацию продукции; высокая ремонтопригодность продукции за счет использования модульной технологии ее сборки, автоматизированная система учета отказов и затрат потребителей);
• уровень сервиса (надежный имидж производителя продукции, обоснованные гарантии в сопроводительных документах, наличие мощностей для сервисного обслуживания; качественная упаковка продукции).

На большинство составляющих этих показателей непосредственное влияние осуществляет собственно технологический процесс изготовления продукции. Но даже будучи качественно разработанным, технологический процесс со временем теряет свою эффективность из-за бурного развития науки и, как следствие, внедрения технических и технологических инноваций в практику деятельности промышленных предприятий. Современным инструментом, который разрешает поддерживать надлежащий уровень эффективности технологических процессов, а соответственно, и уровень конкурентоспособности продукции, которая изготовляется с их помощью, является реинжиниринг. В своем известном классическом определении понятия «реинжиниринг» М. Хаммер и Дж. Чампи отображают его цели через призму оптимизации затрат производства, повышение качества продукции, уровня обслуживания и оперативности, которые являются ключевыми показателями для успешного функционирования промышленных предприятий в сегодняшних условиях [1].

В современной профессиональной литературе, в зависимости от масштабов проведения реинжиниринга, выделяют такие четыре его базовые вида [2]:
• «разовые улучшения» – это наименьший по масштабу осуществления проект реинжиниринга, который предусматривает перепроектировку некоторых локальных технологических бизнес-процессов и проводится в рамках одного или нескольких подразделений предприятия с целью выявления и ликвидации точечных проблемы, например, «узкого места»;
• «частичное документирование» предусматривает перестройку некоторых отдельных ключевых технологических бизнес-процессов

предприятия с целью стандартизации и оптимизации порядка их выполнения;

- «тотальное моделирование» – схематическое отображение большей части «сквозных» технологических бизнес-процессов предприятия с целью анализа, оптимизации, регламентации и последующей их автоматизации или кардинального изменения подхода к их выполнению.
- «комплексная перепроектировка» – кардинальная перестройка технологического фундамента деятельности предприятия, а также его организационной структуры и принципов управления.

Какой именно из этих видов реинжиниринга применить к тому или иному технологическому процессу, дает возможность обоснованно определить предложенная нами методика [3]. Таким образом, установив правильно необходимый тип реинжиниринга соответствующего технологического процесса и реализовав после этого проект его перепроектировки, можно эффективно влиять на уровень конкурентоспособности продукции, которая выпускается. Концепция реинжиниринга разрешает не только повысить уровень конкурентоспособности продукции, но и в совокупности с модернизацией ее конструкции, продлить срок ее выпуска и реализации на рынке, фактически отодвигая в будущее момент морального старения как технологии, так и самой продукции. А это не маловажно в современных кризисных условиях хозяйствования и отсутствия достаточного количества инвестиционных ресурсов для полного обновления технологической базы промышленных предприятий.

Литература

1. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи. – СПб.: Изд. С.-Петербургского университета, 2007. – 332 с.

2. Ковальов А.І. Підвищення ефективності антикризового управління в корпоративному секторі на основі реінжинірингу бізнес-процесів // Вісник соціально-економічних досліджень. – 2014 рік. – вип. 3 (54). – С. 124–130.

3. Сорочак О.З., Гвоздь М.Я. Методика оцінювання ефективності бізнес-процесів приладобудівних підприємств та вибору відповідного виду їх реінжинірингу / Економічний простір: Зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2015. – №102. – С. 210–224.

Сороченко В.Г. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ НАНОДИСПЕРСНИХ ПОРОШКІВ НА ТВЕРДІСТЬ РОБОЧОГО ШАРУ ІНСТРУМЕНТА ІЗ КНБ І ПОКАЗНИКИ ОБРОБЛЮВАНОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Досліджено функціональні закономірності впливу нанодисперсних металічних (мідь та олово) і неметалічних SiC_n порошків (рис. 1), дисперсних мікропорошків карбіду кремнію (SiC-M1, SiC-M40) та мікропорошків кубічного нітриду бору КМ1/0 та КМ3/1 на твердість кубонітовмісного робочого шару композиту, зносостійкість та потужність абразивної механічної обробки інструментами із металополімерних композитів, які створено на основі системи $Cu–Cu_n–Sn–Sn_n–SiC–SiC_n$–ПБ–КНБ. Зокрема, встановлено вплив мікропорошків кубічного нітриду бору розроблених інструментальних композитів із кубічного нітриду бору, які варіювалися в межах 1:5:10 та 4:8:10 мас.%, на структуроутворення композитів та експлуатаційні показники.

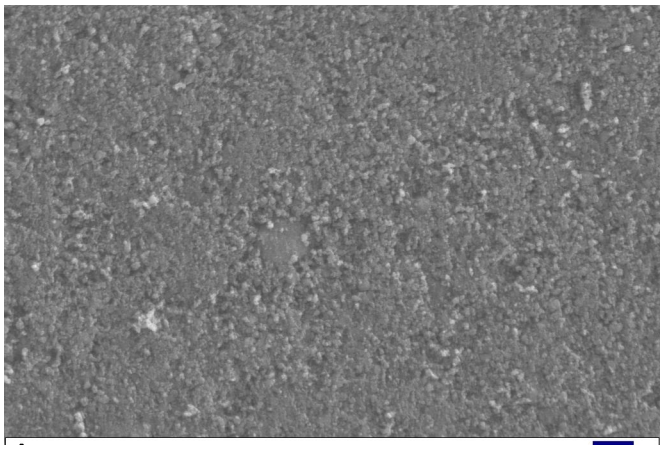


Рисунок 1 – Нанодисперсний плазмохімічний порошок карбіду кремнію (АО «НЕОМАТ Со», Латвія) ×50000

Результати дослідження закономірностей впливу нанодисперсних порошків Cu, Sn, SiC на твердість робочого шару металополімерного нанодисперсного композиту та відносні витрати кубічного нітриду бору при шліфуванні інструментальних сталей наведено на рис. 2 і 3.

Як видно із наведених рисунків, читко спостерігається наявність екстремальних областей, при яких спостерігається зниження відносних витрат кубічного нітриду бору і збільшення твердості робочого шару металополімерного композиту. В кінцевому підсумку це дозволяє нам стверджувати, що при введенні в металополімерний кубонітовмісний композит нанопорошків міді, олова та карбіду кремнію в кількості 2–5% (по масі) відносні витрати кубічного нітриду бору при шліфуванні інструментальних сталей знижуються в 2,0–2,5 рази, тве-

рдість робочого шару збільшується в 1,2–1,4 рази, а енергоємність процесу шліфування знижується на 25–30%. Встановлено, що ефективність спікання (характеризує структуроутворення) металополімерних композитів на основі кубічного нітриду бору, модифікованих нанодисперсними наповнювачами складає 90–95%. При цьому твердість металополімерних композитів із КНБ є прогнозованою величиною, змінюється в межах 85–90 HRB_{60} і визначається встановленим оптимальним вмістом нанодисперсних порошків Cu, Sn, SiC.

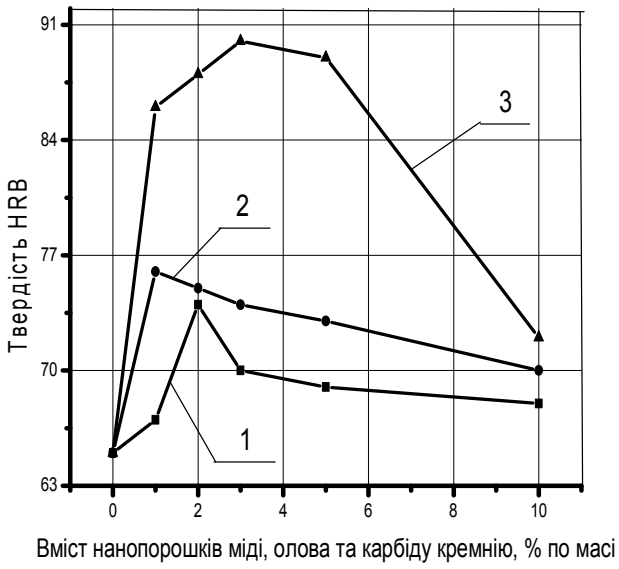


Рисунок 2 – Вплив нанопорошків міді (1), олова (2) та карбіду кремнію (3) на твердість робочого шару металополімерного композиту інструментального призначення

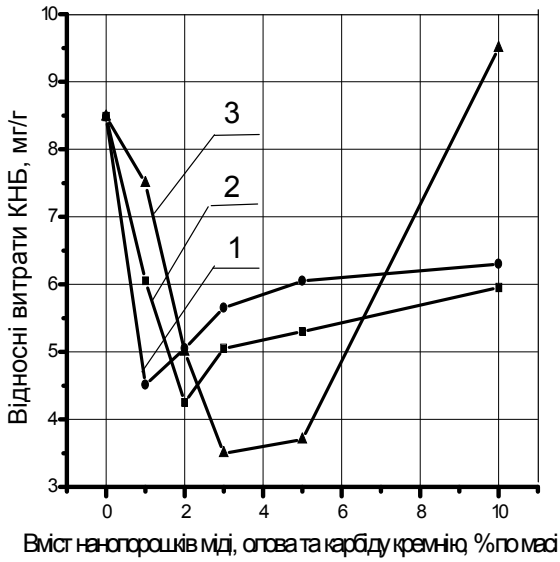


Рисунок 3 – Вплив нанопорошків олова (1), міді (2) та карбіду кремнію на відносні витрати КНБ при шліфуванні інструментальної сталі марки Р18

Застосування дисперсних порошків КМ зернистістю 1/0 та 3/1 формує твердість композитів, що дорівнює 73–78 HRB_{60} та відповідну зносостійкість композитів в межах 13,01–32,03 мг/г.

Таким чином, розроблені композити із КНБ на основі нанодисперсних порошків дозволяють отримувати абразивні інструменти із надтвердих матеріалів високої точності, що є важливим для реалізації прецизійної обробки при шліфуванні інструментальних сталей.

Сороченко В.Г. Институт сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Оптимизация технологических параметров спекания нанодисперсных композитов из кубического нитрида бора базируется на трех основных положениях. Первое положение – установлено оптимальное соотношение и количественное содержание нанодисперсных порошков меди, олова и карбида кремния в металлополимерных композитах; второе положение – установлено закономерности влияния нанодисперсных порошков меди, олова и карбида кремния и аналогичных микродисперсных порошков, а также их совместное влияние на физико-механические свойства и эксплуатационные показатели кубонитосодержащих металлополимерных композитов при шлифовании инструментальных сталей; и третье положение- для установления взаимосвязи между функциональными характеристиками композитов и показателями работоспособности шлифовального инструмента разработана и реализована усовершенствованная технологическая схема программированного компьютерного термического спекания инструментальных композитов на основе управления параметрами «температура – давление- время». Изготовлена специализированная технологическая установка на базе пресса модели НС-265, которая включает автономное нагревательное устройство, прессовый блок, электрический и гидравлический приводы, систему программированного управления и соответствующее технологическое оборудование. Структурная схема усовершенствованной прессовой установки на базе пресса модели НС-265 приведена на рис. 1. Данная технология позволила установить критические точки и режим их прохождения при спекании, а также реализовать эффект дисперсного упрочнения многокомпонентной системы металлополимерного композита. В табл. 1 приведены основные технологические параметры изготовления металлополимерных композитов на основе кубического нитрида бора модифицированных нанодисперсными наполнителями. Оптимальные режимы горячего спекания и последующая термическая обработка инструмента в свободном состоянии в воздушной среде или в вос-

становительной среде позволили повысить производительность и уменьшить энергонапряженность изготовления инструмента за счет уменьшения температуры и времени его прессования и спекания.

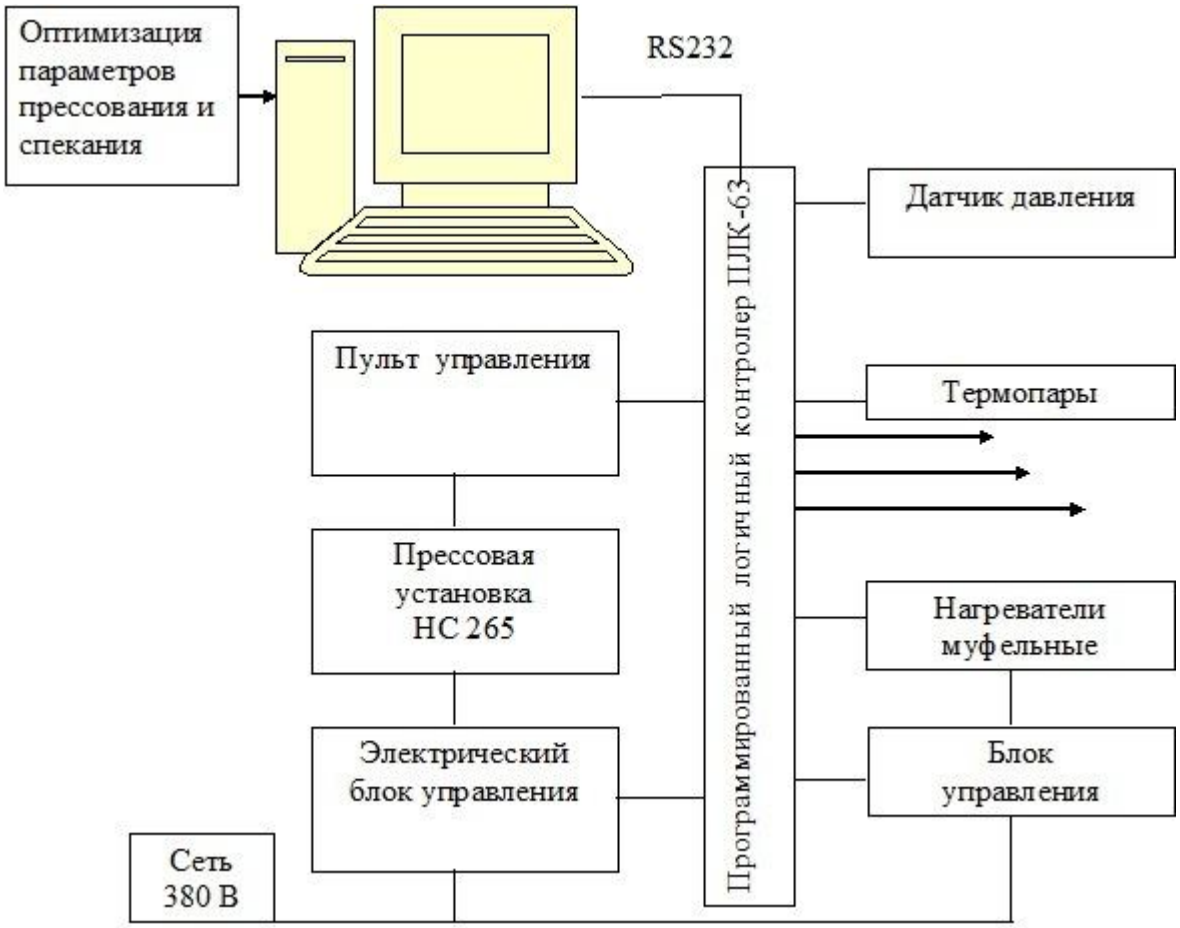


Рисунок 1 – Структурная схема усовершенствованной технологической установки для прессования и спекания кубонитосодержащих металлополимерных композитов

Таблица 1 – Основные параметры термической программы процесса спекания

Вид участка	Продолжительность спекания, мин.	Давление, МПа	Температура, °С	Участок программы
Начало	0	0	0	0
Нагрев	20	1,5	200	1
Нагрев	10	6,0	250	2
Нагрев	10	12,0	300	3
Выдержка	30	12,0	300	4
Охлаждение	20	12,0	150	5
Охлаждение	10	0	50	6

Таким образом, разработанная интегрированная технология изготовления кубонитосодержащих композитов инструментального назначения, которая базируется на изложенных выше положениях, применении нанодисперсных металлических и неметаллических порошков, регулируемом управлении технологическими параметрами прессования и спекания позволяет снизить усилие прессования на 20–30% за счет прецизионного компьютерного управления системой «температура–давление–время» (данный технический эффект особенно важен при спекании нанодисперсных металлополимерных кубонитосодержащих композитов инструментального назначения).

Тимофеев С.С., Демин А.Ю. Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

Методам поверхностного упрочнения, как эффективному средству повышения надежности и долговечности деталей машин, уделяется все возрастающее внимание в машиностроении.

На сегодняшний момент известно большое разнообразие методов повышающих эксплуатационные свойства материала посредством поверхностного упрочнения. Среди таких методов можно выделить: пластическое деформирование (дробеструйная обработка, обкатывание роликами, центробежно-шариковый наклеп и др.), поверхностная закалка (газокислородным пламенем, нагревом ТВЧ и др.), вакуумплазменное напыление, нанесение гальваническим способом металлических и неметаллических материалов (хромирование, никелирование, борирование, оксидирование), химические способы (хромирование, никелирование, фосфатирование), поверхностное упрочнение за счет наплавки (электродуговая, электрошлаковая, вибродуговая и др.) и многие другие.

Среди известных достоинств описанных методов поверхностного упрочнения, можно выделить общие, присущие им всем, недостатки:

- необходимость применения дорогостоящего оборудования и химикатов;
- обеспечение повышения лишь какого-то одного или двух из необходимого комплекса свойств материала, что требует дополнительных мер, для обеспечения повышения уровня других свойств. Это связано с технологическими и другими трудностями.

Указанные недостатки поверхностного упрочнения не свойственны химико-термической обработке (ХТО), благодаря формированию различных по составу и свойствам металлических и металлоподобных, одно- или многофазных диффузионных слоев, которые обеспечивают высокие сопротивление износу, коррозии и повышают сопротивляемость усталостному разрушению.

Основными требованиями, предъявляемыми к свойствам поверхностного слоя деталей, работающих в условиях трения и изнашивания, обеспечивающих долговечность и работоспособность материала, следует назвать прирабатываемость, износостойкость, а также определенные значения антифрикционных характеристик. Как правило, износостойкость обеспечивается высокой твердостью, а прирабатываемость − низкой. Такой комплекс свойств трудно обеспечить в покрытии состоящем из одного слоя. Выходом из положения является нанесение на поверхность нескольких слоев, каждый из которых может иметь свои, присущие только ему, фазовый и химический состав и свойства.

Анализ результатов работ, посвященных проблемам поверхностной упрочняющей обработки металлов показывает, что необходим поиск нового направления в области химико-термической обработки с целью получения в одном технологическом цикле защитных покрытий, обеспечивающих требуемые свойства обработанных деталей. В этом отношении перспективным может быть применение комплексной обработки посредством формирования многослойных покрытий с применением новой экологически чистой насыщающей среды − перегретого пара водных растворов солей.

Сущность такой комплексной обработки состоит в том, что на первом этапе производится вакуум плазменное напыление, а затем химико-термическая обработка насыщением в перегретом паре водных растворов солей. На образующемся покрытии, состоящем из нитридов, с помощью последовательного оксидирования формируется композиционное покрытие, состоящее из оксидов и оксинит-

ридов, позволяющее повысить триботехнические свойства и ресурс работы материала деталей.

Проведенные эксплуатационные испытания подтвердили эффективность нового направления в области поверхностной обработки деталей из железоуглеродистых сплавов, обеспечивающей увеличение их рабочего ресурса не менее, чем в 3 − 4 раза, что дает основание рекомендовать предложенное направление комплексной обработки для применения в производстве и ремонте деталей из железоуглеродистых сплавов.

Литература

1. Тимофеева Л.А., Катрич С.А., Солнцев Л.А. Влияние вакуум-плазменного напыления на износостойкость средне- и малоуглеродистой стали // Трение и износ. – 1992. – т.13, №3. – С. 533–535.

2. Тимофеев С.С., Остапчук В.Н., Мовшович А.Я. Исследование теплового состояния плунжеров топливной аппаратуры дизелей в процессе вакуумно-плазменной обработки // Вестник двигателестроения. − 2008. – №2. – С. 117–120.

Тимофеєва Л.А., Комарова Г.Л. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Враховуючи перспективи використання ріжучих інструментів з надтвердих та композиційних матеріалів, явну доцільність розширення обсягу його виробництва і застосування, можна стверджувати, що на даному етапі розвитку металообробної промисловості є виправданим подальше вдосконалення способів підвищення його якості за рахунок використання спеціальних захисних покриттів.

У цьому напрямку планується провести дослідження, ґрунтуючись на відомостях про особливості виробництва, застосування і деякі недоліки інструментів з НТМ щодо їх експлуатаційних властивостей.

Механізм прискореного зносу ріжучих пластин з надтвердих матеріалів передбачає наявність посиленого окислення або алотропічного перетворення при температурах, що перевищують гранично допустимі значення. Крім того, стійкість їх різко знижується завдяки дифузії деяких хімічних елементів з оброблюваного матеріалу в НТМ і КМ.

У зв'язку з цим ставиться завдання попереднього створення на різальному інструменті спеціальних покриттів, що знижують температуру в зоні різання і одночасно служать свого роду бар'єром для дифузійних процесів. При інших рівних умовах експлуатації інструменту повинно забезпечуватися підвищення його працездатності.

Слід підкреслити, що названі два явища, які негативно позначаються на стійкості інструменту з НТМ і КМ, взаємопов'язані. Наприклад, коефіцієнт взаємодифузії в системі «інструмент-деталь» значною мірою збільшується із зростанням температури в зоні різання і різницею концентрацій дифундуємих хімічних елементів. Важливо враховувати при виборі складу і способу нанесення покриттів також той факт, що наявність дифузії тільки в одному лише інструментальному матеріалі може викликати зміну його експлуатаційних властивостей як в негативному так і позитивному напрямках.

Відомо, що дифузія в металокераміці сприяє зменшенню її пористості, заростанню пір дифундуючими елементами. Останнє позитивно позначається на щільності і міцності металокераміки, але знижує її маслоємність, що дуже важливо при терті.

Окислення НТМ пов'язано з протіканням дифузії і реакції на межі «метал-окисел» і «оксид-кисень». Атоми кисню адсорбуються на поверхні оксиду і тим самим утворюють вакантні місця для нову дифундуємих іонів металу.

З іншого боку, електрони рухаються шляхом заміщення елементарних дірок від межі «метал–окисел» до межі «оксид–газове середовище», заряджаючи при цьому адсорбовані атоми кисню. Таким чином, виникає подвійний електричний шар, при якому межа «метал–окисел» має позитивний заряд. Завдяки йому на границі шару забезпечується гарна рухливість компонентів через оксид навіть при відносно низьких температурах.

Отже, можна припустити, що в разі оксілегування за методом хіміко-термічної обробки серед перегрітого водного розчину солей, іони металу, що містяться в насичуючому середовищі, будуть переміщатися до границі (оксид–кисень). Їх подальша взаємодія з адсорбованим киснем призводить до утворення нового простого оксиду

або шпінелі. Цим самим повинна виключатися дифузія елементів оброблюваного матеріалу в різальну пластинку, т. е. має місце захисний ефект, який покладено в основу проведення досліджень по даній розробці.

Тимофеева Л.А., Федченко И.И. Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Повышение эксплуатационных свойств деталей транспортного назначения, повышения их качества и эффективности работы, а также вопросы экономии металлов, борьбы с коррозией и износом относятся к числу первоочередных задач науки и техники. Решение этих задач, прежде всего, связано с необходимостью разработки и внедрения высокоэффективных методов повышения конструктивной прочности железоуглеродистых сплавов.

Прочность, надежность и долговечность деталей, предназначенных для работы в сложных условиях эксплуатации (подвергающихся воздействию циклических нагрузок, контактным напряжениям, интенсивному износу, воздействию агрессивных сред и т.п.) в значительной степени определяются физико-механическими свойствами рабочих поверхностей.

Методы поверхностного упрочнения деталей, среди которых наиболее перспективным и распространенным является метод химико - термической обработки (ХТО) играет важную роль в повышении конструктивной прочности металлических материалов.

Несмотря на эффективность поверхностного упрочнения стальных деталей методом ХТО, технология этих процессов имеет крупный недостаток - большую продолжительность и, как следствие — энергоемкость. Значительная разница между технологическим временем ХТО и других операций обработки не позволяет ввести ее в единый технологический поток изготовления изделий и препятствует ее полной автоматизации. Поэтому основной задачей в области технологии ХТО является существенная интенсификация процессов

диффузионного насыщения. Кроме того, существующие технологические способы и режимы ХТО, не исчерпывают возможности достижения еще более высокого уровня конструкционной прочности материала. Следовательно, проблема разработки высокоэффективных и рациональных режимов ХТО и поиск оптимальных режимов направленного воздействия на структуру и свойства материала поверхностно упрочняемых деталей транспортного назначения является актуальной проблемой материаловедения и представляет значительный народохозяйственный интерес.

Современные исследования и анализ условий интенсификации диффузионных процессов насыщения при ХТО показали, что основная задача заключается в обеспечении такого структурного строения стали, которое способствовало бы ее максимальной диффузионной восприимчивости.

Для большинства способов ХТО характерна необходимость применения термической обработки до или после нее. Анализ этих методов, структуры и свойств защитных слоев, полученных при использовании химико-термической обработки, показывает, что применяются они для обеспечения априори выбранного одного из свойств материала. Для повышения износостойкости используются цементация, азотирование, цианирование, нитроцементация. Для улучшения прирабатываемости и повышения противозадирных свойств – сульфидирование, сульфоцианирование, нитросульфоазотирование и др.

Способы химико-термической обработки с использованием твердой насыщающей среды находят применение в малосерийном производстве. В этом случае трудоемкая операция, требующая большого расхода энергии для нагрева контейнера, заполненного сыпучим материалом, длительной выдержки при повышенной температуре, большой затраты рабочей силы при использовании малоэффективного оборудования, является непроизводительной

В зависимости от состава насыщающей среды, разработаны различные способы, которые обеспечивают повышение износостойкости деталей за счет формирования диффузионного слоя, состоящего из твердых фаз в виде карбидов, нитридов, карбонитридов, нитрооксикарбидов и др. Безусловно, эти поверхностные слои имеют повышенную износостойкость, однако из-за высокой твердости, они плохо прирабатываются. В результате, при эксплуатации в условиях работы деталей при повышенных скоростях и давлениях,

имеет место выкрашивание слоя, что способствует ускоренному износу и выходу деталей из строя

Среди современных методов термохимического воздействия на железоуглеродистые сплавы, наиболее экологически чистыми, финишными процессами, являются парооксидирование и оксилегирование, так как в качестве насыщающей среды используется перегретый водяной пар. Несмотря эти методы не находят должного применения в промышленности из-за ограничения температурных параметров. Однако, учитывая положительные качества поверхностного слоя, полученного при паротермическом оксидировании, а именно, его строение, появились работы по комплексной обработке, т.е. сочетание паротермического оксидирования с другими методами химико-термической обработки, а именно азотирование, сульфидирование и др. В результате чего на поверхности металла образуется многослойное покрытие, состоящее из нескольких слоев. Следует отметить трудность в осуществлении таких мероприятий, которые связаны как с технологической точки зрения (многостадийность операций), так и с научной, необходимость подбора насыщающей среды, которая обеспечила бы необходимую адгезию между образующими слоями.

Так как парооксидирование является финишной операцией, то этот метод позволяет получить оксидные пленки с хорошими триботехническими параметрами на изделиях, которые подвергаются термической обработке закалке и высокому отпуску. Многие изделия, применяемые в машиностроении, подвергаются другой термической обработке: закалке и среднему отпуску.

Чтобы получить оксидную пленку необходимой морфологии и триботехнических свойств в атмосфере перегретого пара при температуре более низкой, чем 600° С, в течение одного часа, процесс парооксидирования необходимо интенсифицировать.

Поэтому процесс интенсификации проводили с применением электрического поля. Как показали проведенные исследования влияния электрического поля на насыщающую среду и выявлено, что электрическое поле повышает концентрацию ионов кислорода в перегретом паре, увеличивает их энергию направленного движения. В результате этого увеличивается количество ионов кислорода, которые достигают поверхности металла, это дает возможность управления процессом изменения фазового и элементного составов оксидной пленки. Толщина оксидной пленки линейно увеличивается с ростом напряженности электрического поля.

Проведенные исследования дали возможность установить количественные закономерности кинетики формирования покрытий в среде перегретого пара с наложением электрического поля. Электрическое поле с напряженностью $2x10^6$В/м в четыре увеличивает скорость формирования покрытия при температуре 450^0С, формирование покрытия прекращается при температуре 330^0С.

Применение электрического поля дало возможность снизить температуру формирования оксидных покрытий в среде перегретого пара до 450^0С. В результате расширяется температурный диапазон нанесения покрытий, который позволяет применять усовершенствованный метод парооксидирования не только для деталей, которые подвергаются термической обработке: закалке и высокому отпуску, но и для деталей после закалки и среднего отпуска.

Повышение эксплуатационных свойств деталей транспортного назначения можно осуществить интенсификацией процессов формирования защитных покрытий, обладающих заданными эксплуатационными свойствами

Титаренко В.И., Лантух В.Н.
ООО «НПП РЕММАШ», Днепропетровск
Мудранинец И.И. ПАО «ИЗМСО», Ильница, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ УСТАНОВОК

Любая наплавочная установка или станок для электродуговой наплавки – это комплекс, в состав которого входит следующее оборудование: электросварочное – наплавочный автомат, источник сварочного тока, аппаратура контроля и регулирования наплавочного процесса; механическое – устройства и механизмы для крепления, переустановки и движения наплавочного аппарата, наплавляемого изделия, а также аппаратура контроля и регулирования этих операций; вспомогательное – флюсовая и газовая аппаратура, устройства для нагрева наплавляемых деталей, очитки шва и прилегающей зоны от шлаковой корки, устройства для очистки зоны обслуживания от пыли и вредных газов.

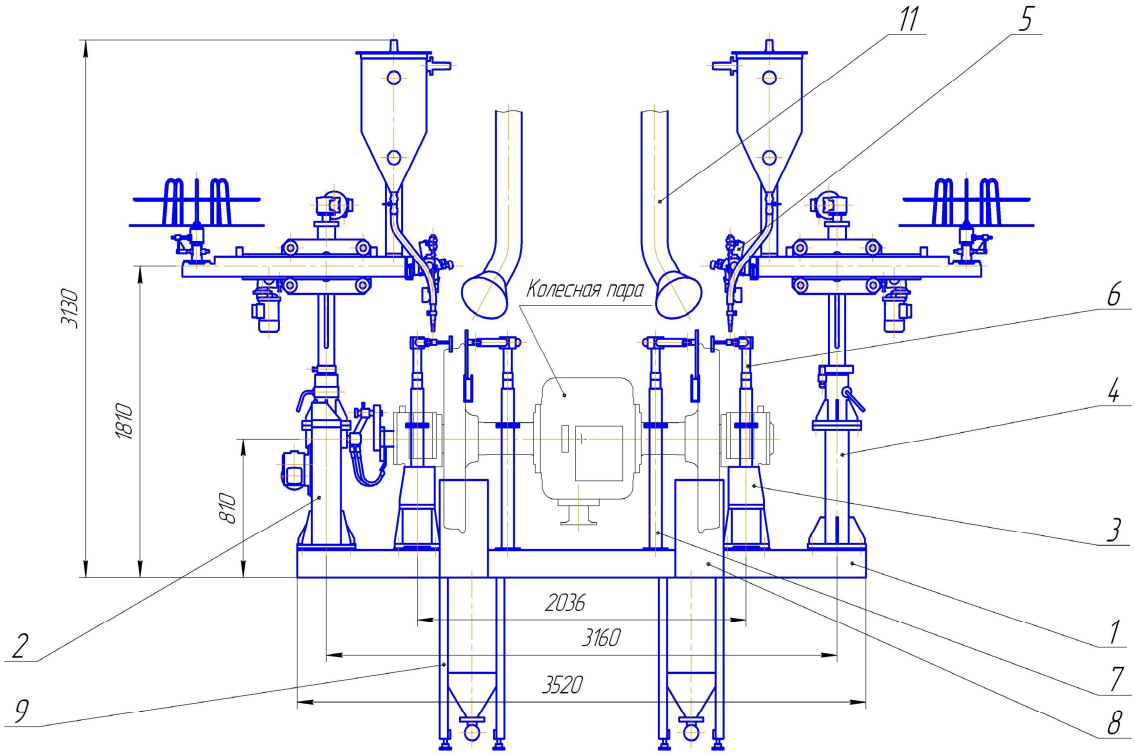
При разработке и изготовлении универсальных наплавочных станков и установок перед разработчиком и изготовителем стоит

задача максимального расширения возможностей такого оборудования по номенклатуре наплавляемых деталей.

При разработке и изготовлении специализированных наплавочных станков и установок перед разработчиком и изготовителем стоит задача создания оборудования для наплавки конкретной узкой номенклатуры деталей. Но с учетом того, что специализированные станки и установки разрабатываются для наплавки либо деталей сложной формы, либо изделия в собранном виде, когда смежные детали таких изделий ограничивают пространство для размещения узлов установки, на одно из первых мест, кроме прочих вопросов, выступает вопрос эргономики. Это удобство загрузки и выгрузки изделия, удобство обслуживания и управления установкой.

Решение этих и других вопросов мы рассмотрим на примере проектирования и изготовления установки для электродуговой наплавки железнодорожных колесных пар для одного из заказчиков. За основу была взята установка РМ-9, разработанная и изготовленная для наплавки колесных пар грузовых вагонов и шлаковозов на Никопольском заводе ферросплавов. Несмотря на определенную универсальность, позволяющую наплавлять колесные пары двух типов: как в разобранном виде (без букс), так и в сборе с буксами, ее конструкция не позволяла наплавлять всю номенклатуру колесных пар нового заказчика. Специфика работы новой модификации установки заключалась в том, что установка согласно техническому заданию заказчика должна обеспечивать наплавку трех типов колесных пар: грузовых вагонов и думпкаров РУ-1 и РУ-1Ш в разобранном виде (без букс), путевых машин АДМ-1.3 и МПТ-6 в собранном виде (с буксами и редуктором). Как и в базовой модели установки РМ-9 наплавочная часть и устройство нагрева колес перед наплавкой в новой модификации также выполнены раздельно. Наплавочная часть установки (рис. 1) собрана на станине (поз.1), на которой установлены и закреплены вращатель (поз.2), два основания для сменных подставок под буксы или роликоопоры (поз.3), две наплавочные стационарные поворотные колонны (поз.4), по два устройства для удержания флюса с наружной (поз.6) и с внутренней (поз.7) стороны колес. Учитывая ограничения с местом на подвижной консоли колонны и необходимостью распределить нагрузку на консоль, использована расчлененная компоновка наплавочного автомата (поз.5), согласно которой на торце консоли закреплен только подающий механизм. Флюсобункер установлен над консолью со смещением к ее центру, кассета с проволокой закреплена с проти-

воположной стороны консоли, пульт управления закреплен сбоку консоли, а шкаф управления наплавочным автоматом установлен вне станины на сварочном выпрямителе.



1–станина, 2–вращатель, 3–подставка под буксу (или роликоопора), 4–колонна наплавочная, 5–наплавочный автомат, 6–устройство для удержания флюса (наружное), 7–устройство для удержания флюса (внутреннее), 8–устройство для сбора шлака, 9–устройство для сбора и подачи флюса,10–шкаф управления наплавочной установкой (условно не показан), 11–устройство вытяжной вентиляции

Рисунок 1 – Установка наплавочная РМ-9

Также вне станины установлены два устройства для сбора и подачи флюса (поз.9), состоящие из бункеров с эжекторами, расположенных в приямке за колесом, и ящиком с ситом без дна, устанавливаемых на бункере с эжектором. Перед наплавляемыми колесами впритык к станине, а также на станине под колесами устанавливаются по два ящика на каждое колесо для сбора шлака (поз.8).

Изменения наплавочной части вновь изготавливаемой установки по сравнению с базовым вариантом РМ-9, изготовленным для ПАО «НЗФ» заключались в следующем: была доработана конструкция колонны, в результате чего повысилась ее жесткость, на 50% увеличен объем флюсобункера, увеличено сечение токосъемника на вращателе для предотвращения перегревов зубчатого колеса, через которое производится токосъем с помощью графитовых щеток, изменено месторасположение стоек устройств для удержания флюса в связи с необходимостью размещения в установке ко-

лесной пары с редуктором (в базовый вариант редуктор не вписывался), а также были изменены размеры опор под буксы, в связи с использованием на колесных парах в новом заказе букс другой конструкции.

Кроме этого для комплектации наплавочного автомата модификации установки РМ-9 для ОАО «СГОК» использовались основные части автомата АДФ-1000 (сварочная головка, БУ «БАРС», дистанционный пульт управления к БУ «БАРС») вместо использованных в базовом варианте РМ-9 базовых частей сварочного автомата КА-002 (сварочная головка, совмещенные блок и пульт управления) и вместо сварочных выпрямителей КИА-1201 были использованы выпрямители ВДУ-1000.

Также, учитывая габаритны и конструкцию колесных пар нового заказчика, пришлось значительно изменить конструкцию устройства нагрева (рис. 2). В связи с увеличением максимального диаметра колес, увеличены длина и высота нагревателей, а также длина и мощность ТЭНов. Так как редукторы некоторых колесных пар расположены на небольшом расстоянии от одного из колес, пришлось уменьшить толщину боковых стенок нагревателей. Кроме того, наличие редуктора не позволило устанавливать колесные пары на две опорные стойки под оси. Поэтому вторая опорная стойка съемная. В качестве второй опоры при нагреве колесных пар с редукторами введена подставка под буксу колесной пары, которая при этом не мешает при нагреве колесных пар без редукторов и букс.

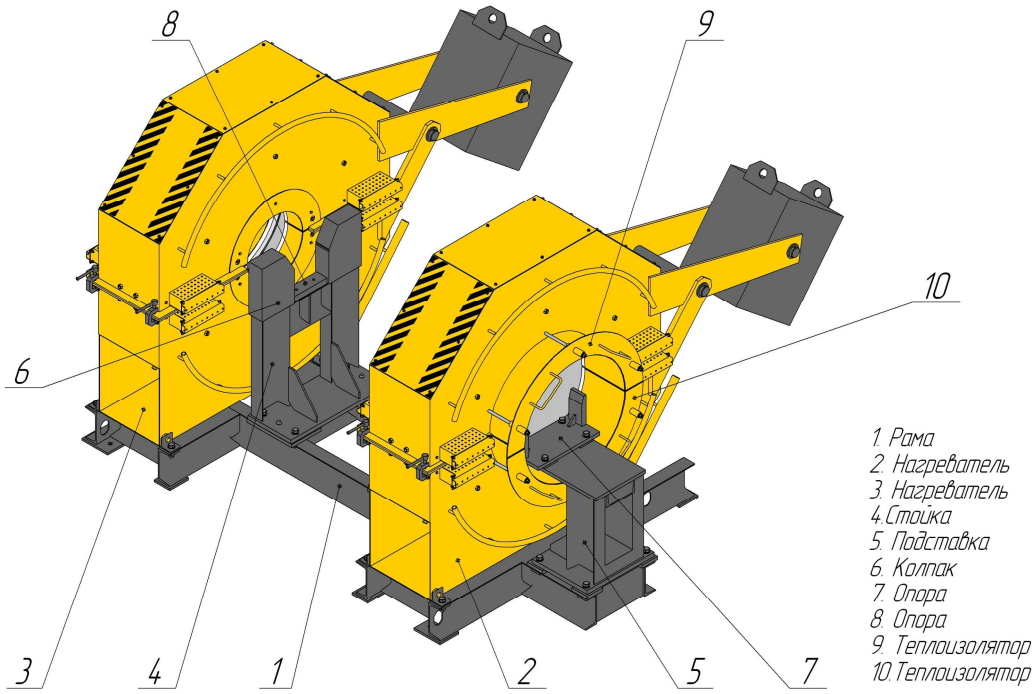


Рисунок 2 – Устройство нагрева

Преимущества от результатов наплавки на установке РМ-9, смонтированной у нового заказчика по сравнению с наплавкой на старой имеющейся у него установке, состояли в сокращении времени наплавки и расхода наплавочной проволоки, благодаря тому, что геометрия и размеры наплавленных гребней колес колесных пар были максимально близки к форме и размерам по чертежу. Это стало возможным благодаря автоматическому горизонтальному и вертикальному переводу на шаг наплавки. В результате, дополнительно к этому, трудоемкость последующей механической обработки наплавленных колес сократилась минимум в два раза.

Однако при испытании установки обнаружились те моменты, которые не были оговорены заказчиком в техническом задании и как следствие в конструкции установки. Это связано, прежде всего, с конструкцией системы сбора и подачи флюса, к которой привыкли наплавщики, работающие на старой установке, где используются автоматы для электродуговой сварки А-1416. Несмотря на недостатки (ручная первичная загрузка флюса и подзагрузка в процессе работы с подъемом наплавщика с ведром по лестнице) эта система имеет положительную сторону, а именно: благодаря флюсоаппарату, которым укомплектован автомат А-1416, производится отсос нерасплавившегося флюса с поверхности колес. Поэтому пожелание заказчиков модернизировать уже работающую установку, применив дополнительный флюсоаппарат, позволяющий собирать нерасплавившийся флюс с поверхности колеса, показалось нам рациональным. Была разработана схема флюсособирающеподающей системы, в которой в базовый вариант с засыпкой флюса в бункер в приямке, подачей его с помощью эжектора в этом бункере сжатым воздухом в флюсобункер наплавочного автомата, просевом падающего с колеса отработанного флюса с попаданием в нижний бункер с эжектором, был добавлен еще вспомогательный флюсоаппарат (поз.2 на рис. 3), позволяющий собирать нерасплавившийся флюс с поверхности колес и ссыпать его в основной флюсобункер (поз.1). Этот вариант системы подачи-уборки флюса, применяемый в основном при сварке и практически не используемый при наплавке объединил и дополнил положительные моменты старой и новой систем.

Продолжая работать над конструкцией установок РМ-9, расширяя их типоразмерный ряд и под другую номенклатуру наплавляемых колесных пар и прорабатывая наплавку колесных пар других типов железнодорожного подвижного состава для потенциальных заказчиков, мы пришли к выводу, что все разнообразие типоразме-

ров колесные пары ввиду их конструкции и габаритов сложно вписать в одну наплавочную установку, и невозможно в устройство для нагрева одного типа. Для примера, к одной из таких колесных пар можно отнести колесную пару тягового агрегата ПЭ2У (рис. 4), в которых близкое расположение у колес шестерен не позволяет отделить кожухами двух нагревателей колеса от шестерен.

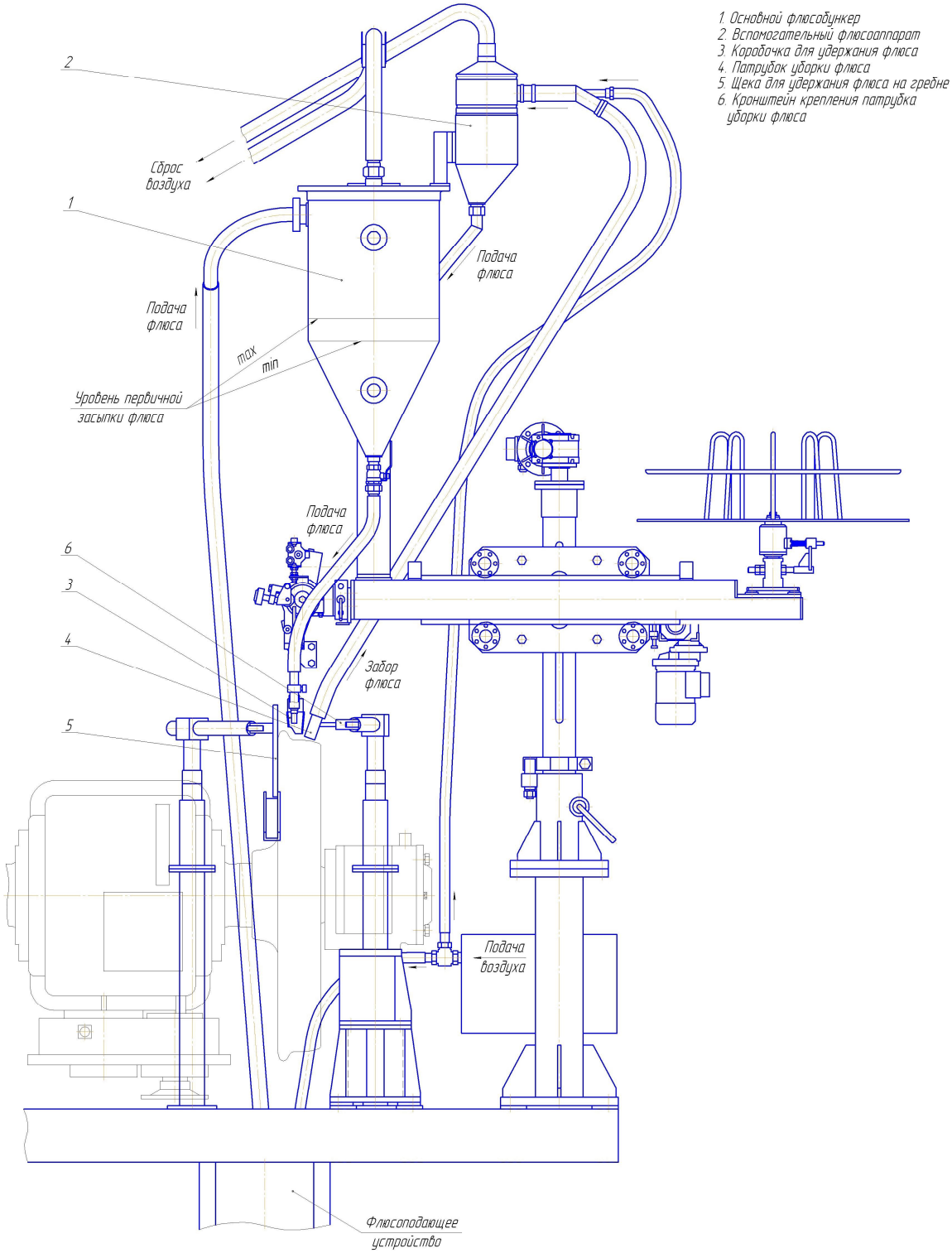


Рисунок 3 – Схема модернизации системы сбора и подачи флюса установки РМ-9

А учитывая, что наплавлять колеса колесных пар тяговых агрегатов без предварительного нагрева нельзя, индивидуально для таких или аналогичных колесных пар можно использовать специальные газовоздушные горелки, которыми дополнительно может быть укомплектована установка для заказчиков, которые кроме прочих планируют наплавлять и подобные колесные пары.

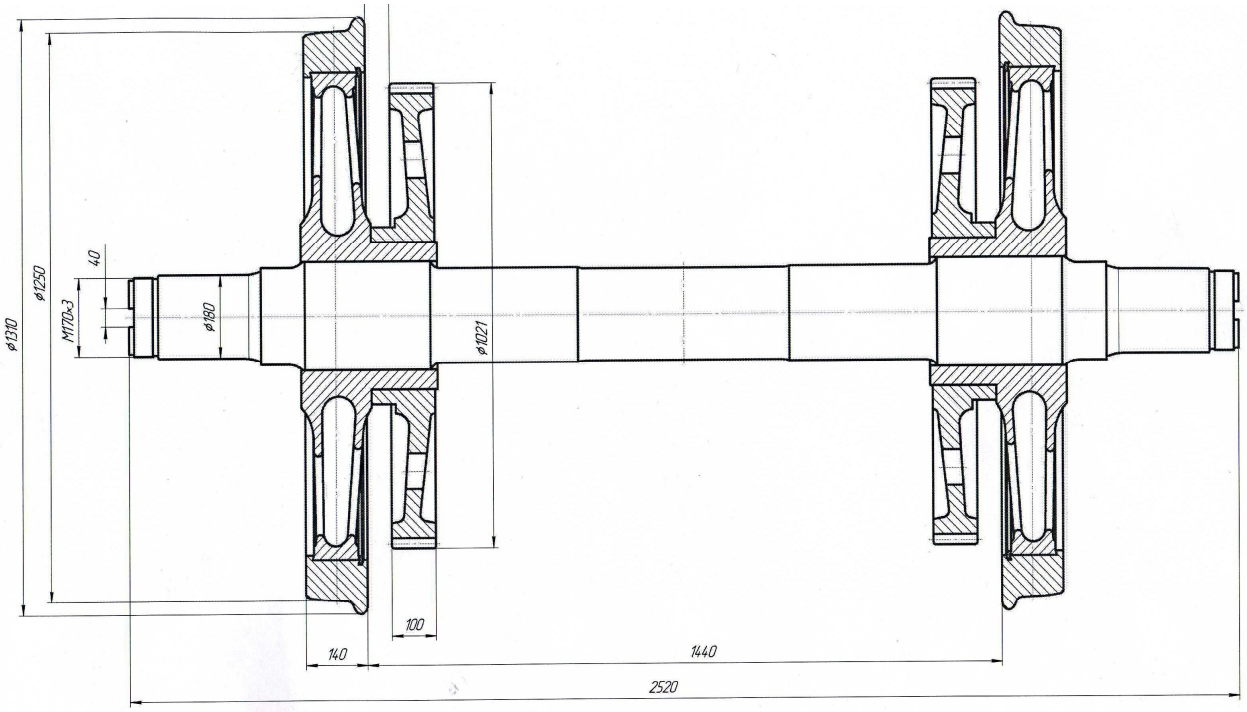


Рисунок 4 – Колесная пара тягового агрегата ПЭ2У без буксовых узлов

Выводы

Проанализировав опыт работ по разработке и изготовлению наплавочных установок под индивидуальную номенклатуру наплавляемых деталей по индивидуальным заказам покупателей и в частности требуемой заказчику модификации наплавочной установки РМ-9, мы пришли к следующим выводам:

- до начала работ заказчиком в обязательном порядке должны быть предоставлены все чертежи всех без исключения деталей, которые он хочет наплавлять на заказываемой установке, перечень которых с приложением чертежей включается в согласованное между заказчиком и изготовителем техническое задание;
- при разработке и изготовлении таких установок необходимо неукоснительно соблюдать: требования согласованного заказчиком и изготовителем технического задания, которое является документом, согласно которому изготовитель сдает, а заказчик принимает установку.

Также необходимо принимать во внимание:

- технологию, принятую на предприятии, для наплавки деталей, под которые заказывается установка;
- планировку производственной площадки, на которой будет работать заказываемая установка и организацию работ на этом производственном участке;
- приемы работы и навыки операторов, работающих на аналогичной установке, если заказываемое оборудование предусмотрено как замена старого.

Литература

1. Титаренко В.И., Ткаченко О.В. Конструктивные и технологические особенности комплекса РМ-9 для восстановления наплавкой гребней железнодорожных колесных пар // Мат. 9-й Международ. науч.-техн. конф. «Инженерия поверхностей и реновация изделий», май 2009, г. Ялта. – К.: АТМ Украины, 2009.

2. Особенности проектирования и изготовления наплавочных станков по индивидуальным заказам / В.И. Титаренко, В.Н. Лантух и др. // Мат. 15-го Международ. науч.-техн. семинара «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», февраль 2015, Свалява, Карпаты. – К.: АТМ Украины, 2015.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина

ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В решении проблемы повышения надежности машин и обеспечения их конкурентоспособности важную роль играет технология и материаловедение защитных и функциональных покрытий. Среди последних широкое применение в мировой практике получили покрытия, получаемые методами газотермического напыления. Это подтверждается расширением применения известных и разработкой новых материалов и покрытий и технологий их газотермического напыления, позволяющих уменьшить или заблокировать отрицательное влияние таких процессов, как изнашивание, эрозия, коррозия (в т.ч. высокотемпературная), кавитация и др., а также придания поверхностям деталей требуемых функциональных свойств.

Несмотря на то, газотермические покрытия стремятся получить с определенными свойствами, необходимыми для выполнения заданных функций, существуют некоторые свойства покрытий, зависящие друг от друга. Эти свойства включают в себя: (1) пористость, (2) твердость, (3) адгезию, (4) модуль упругости, (5) вязкость разрушения, и (6) коэффициент Пуассона. Обобщение соответствующих литературных данных представляет собой весьма сложную задачу. Например, необходимо консолидировать и нормализовать данные по свойствам различных покрытий, которые были получены на различном оборудовании при соответствующих условиях. Методы газотермического напыления отличаются существенными различиями по технологическим параметрам, влияющим на формирование покрытий (табл. 1).

Таблица 1 – Методы газотермического напыления

Метод напыления	T, К	V, м/с	L, мм	B, мм
ГПН	3000	150	120-250	50
ЭДН	6000	240	50-170	40
ДН	4500	750	100	< 25
ПН	10000	350	60-130	20-40
ВПН	15000	600	300-400	50-60
ВГПН	3400	650	150-300	< 20
ХН	1000	800	10-50	< 5

Здесь: ГПН – газопламенное напыление; ЭДН – электродуговое напыление; ДН – детонационное напыление; ПН – плазменное напыление; ВПН – плазменное напыление в динамическом вакууме; ВГПН – высокоскоростное газопламенное напыление; ХН – холодное напыление; T – температура рабочей среды, К; V – скорость напыляемых частиц, м/с; L – дистанция напыления, мм; B – ширина полосы напыления (диаметр пятна напыления), мм.

Анализ литературы по газотермическому напылению с целью систематизации данных по свойствам покрытий является проблематичным из-за разнообразия используемых видов исходных материалов, технологических систем газотермического напыления, режимов напыления, а также других переменных, которые влияют на конечную структуру покрытий. Причем оценка свойств покрытий должна осуществляться учетом их чешуйчатой микроструктуры. Отсутствие общих рамок для представления свойств газотермических покрытий затрудняет их выбор для конкретных условий применения, а также связано с тем, что известные публикации посвящены результатам напыления и исследования свойств отдельных

видов покрытий. Причем весьма редко анализируются возможные взаимосвязи между факторами, определяющими формирование покрытий. Разброс данных по твердости и пористости покрытий представлен в табл. 2.

Таблица 2 – Твердость и пористость покрытий

Метод напыления	Материал покрытия			
	WC-Co		Al_2O_3; Al_2O_3–TiO_2	
	Твердость, ГПа	Пористость, %	Твердость, ГПа	Пористость, %
ПН	6,0–12,5	0–16	3,2–14,8	1,0–16,2
ВГПН	8,2–15,6	0–8,5	8,0–13,0	1,0–9,0
ДН	8,8–11,6	0–5,2	9,0–13,0	1,0–10,5
ХН	7,0–12,0	0–5,0	–	–
ВПН	–	–	4,5–19,2	1,0–26,0
ПНП	–	–	9,0–15,9	1,0–7,5
ВГПНП	–	–	8,5–13,0	2,0–9,0
ПНВСД	–	–	4,5–9,3	5,0–11,2

Здесь: ВПН – плазменное напыление в динамическом вакууме; ПНП – плазменное напыление прекурсоров; ВГПНП – высокоскоростное газопламенное напыление прекурсоров; ПНВСД – плазменное напыление с водяной стабилизацией дуги.

Значения твердости и пористости композиционных покрытий на основе карбида вольфрама и кобальта (WC-Co) систематизированы для четырех методов напыления и имеют достаточно большой разброс. Методы напыления с высокими значениями скорости частиц (детонационное и холодное) позволяют осаждать покрытия с более низкими значениями пористости и более высокими значениями твердости. Высокое тепловложение при плазменном напылении приводит к более значительным вариациям пористости и твердости покрытий WC-Co. Размеры пятна напыления при плазменном напылении значительно больше и они более плоские в сравнении с высокоскоростным газопламенным, детонационным и холодным методами напыления. Поэтому его температурно-скоростное поле более изменчиво и приводит к более высокому разбросу свойств покрытий. Для покрытий WC-Co с низкой пористостью характерна более высокая кучность значений твердости.

При анализе свойств керамических покрытий на основе Al_2O_3 и Al_2O_3–TiO_2 были использованы доступные источники, а кроме упомянутых выше четырех методов напыления также процессы плаз-

менного напыления в динамическом вакууме; плазменного напыление прекурсоров; ВГПНП – высокоскоростное газопламенное напыление прекурсоров; ПНВСД – плазменное напыление с водяной стабилизацией дуги.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о тенденции снижения твердости покрытий с увеличением их пористости. В табл. 3 показаны значения пористости и прочности сцепления. Причем прочность сцепления увеличивается с уменьшением пористости. Детонационное и высокоскоростное напыление обеспечивают получение покрытий с высокой прочностью сцепления и низкой пористостью. Плазменные покрытия показывают большой разброс прочности сцепления.

Таблица 3 – Значения пористости и прочности сцепления

Метод напыления	Материал покрытия					
	Керамика		Металлы		Композиты	
	П, %	$\sigma_{сц}$, МПа	П, %	$\sigma_{сц}$, МПа	П, %	$\sigma_{сц}$, МПа
ПН	2,0–33,8	6,0–53,0	2,0–13,0	19,0–66,0	2,0–19,3	22,0–48,0
ВГПН	1,5–13,0	24,0–77,0	1,0–2,0	35,0–64,0	–	–
ХН	–	–	0,5–2,0	20,0–44,0	–	–
ДН	–	–	2,0	67,0	–	–
ГПН	–	–	4,5–6,5	28,0–41,0	–	–

Ниже сопоставлены данные по твердости покрытий и прочности сцепления (табл. 4). Металлические покрытия обладают более высокой прочностью сцепления, но более низкие значения твердости по сравнению с керамическими. Такие различия в прочности сцепления можно связать с характером межчастичных контактов, остаточных напряжений и механизмом разрушения этих покрытий.

Две закономерности следуют из анализа приведенных ниже данных по пористости и модулю упругости покрытий. Значения последнего для керамических покрытий значительно ниже, чем у соответствующих спеченных керамических материалов. Это можно объяснить межчастичным скольжением в пористой микроструктуре покрытий. Второе относится к более высоким значениям модуля упругости для металлических покрытий, что может быть связано с окислением металлических частиц в процессе напыления. Газотермические покрытия в значительной мере наследуют упругие свойства от соответствующих компактных материалов. Основная тенденция появляется в

том, что модуль упругости покрытий уменьшается с увеличением пористости. Физическое объяснение состоит в возрастании тенденции ламелей покрытий скользить с увеличением пористости. Плазменные покрытия показывают наибольший разброс среди других методов напыления. Свойства зависят от степени пористости и фазовых превращений материалов покрытий в процессе напыления. Методы напыления с высокой кинетической энергией (высокоскоростное газопламенное, в т.ч. при напылении прекурсорами, и холодное напыление) проявляют значительно меньший разброс и свойства покрытий определяются в основном фазовыми превращениями (табл. 5).

Таблица 4 – Твердость покрытий и прочность сцепления

Метод напыления	Материал покрытия					
	Керамика		Металлы		Композиты	
	H, ГПа	$\sigma_{сц}$, МПа	H, ГПа	$\sigma_{сц}$, МПа	H, ГПа	$\sigma_{сц}$, МПа
ПН	2,7–13,6	6,0–92,0	0,6–7,4	17,0–65,0	1,6–6,4	22,0–60,0
ВГПН	2,8–8,0	24,0–76,0	0,5–3,0	34,0–64,0	–	–
ХН	–	–	0,5–2,5	25,0–46,0	0,6–1,8	40,0–43,0
ДН	–	–	3,0	63,0	–	–
ГПН	–	–	0,5–3,2	21,0–40,0	–	–
ВПН	–	–	2,4–2,5	21,0–106,0	3,5	60,0

Таблица 5 – Разброс и свойства покрытий в зависимости от метода напыления

Метод напыления	Материал покрытия					
	Керамика		Металлы		Композиты	
	П, %	E, ГПа	П, %	E, ГПа	П, %	E, ГПа
ПН	6,3–20,3	13,0–210	2,5–17,0	30,0–225	2,2–11,0	50,0–195
ВГПН	–	–	0,5–5,6	61,0–282	0,5–5,8	71,0–192
ХН	–	–	1,5	54,0–110	–	–
ЭДН	–	–	5,5	80,0–110	–	–
ГПН	2,0	125,0–160	–	–	–	–
ВПН	–	–	1,2	153,0	–	–
ПНКС	15,0	83,0–205	–	–	–	–
ПНВСД	5,0–28,0	43,0–198	–	–	–	–
ВГПНП	2.2–7,5	130–200	–	–	–	–

ПНКС – плазменное напыление в контролируемой среде

Общая тенденция, выявляемая при анализе значений твердости и модуля упругости покрытий, показывает их положительную корреляцию (табл. 6).

Таблица 6 – Значения твердости и модуля упругости покрытий

Метод напыления	Материал покрытия					
	Керамика		Металлы		Композиты	
	H, ГПа	E, ГПа	H, ГПа	E, ГПа	H, ГПа	E, ГПа
ПН	2,6–13,0	11,0–270	1,0–2,0	30–105	5,5–9,8	52,0–245
ВГПН	–	–	3,0–7,6	52,3–280	5,2–10,8	52,0–226
ХН	–	–	2,4	58,0–110	–	–
ЭДН	–	–	0,5–1,6	23,0–110	–	–
ГПН	8,4	151	–	–	–	–
ВПН	4,2–13,2	51,5–285	2,3–3,6	110,0–218	–	–
ПНКС			–	–	–	–
ПНВСД	12,0	285	–	–	–	–
ВГПНП	8,2	125,0–200	6	130	–	–

Дальнейшая систематизация и обобщение данных по свойствам покрытий будет способствовать совершенствованию методики выбора покрытий для определенных применений, методов и технологий их газотермического напыления.

Холмирзаев Ю.М. Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА ГЕННО–МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОРГАНИЗМАМИ

Тема ГМО волнует аналитиков во всем мире. Никто не будет спорить, что «мы едим то, что мы едим». Это относится ко всем продуктам, которые мы употребляем в пищу, в том числе и к генетически-модифицированным организмам. Чем больше мы вкушаем «запретных плодов», тем выше риск развития трансгенного загрязнения нашего организма и организмов наших потомков.

Считается, что вся пища, попадающая в наш организм, фрагментируется на кирпичики, из которых тело по своей программе

строит себя. Поэтому ГМО никак не может нанести вред. Однако это лишь теория. Измененная ДНК от ГМО также может оказаться частью нашего генетического материала благодаря явлению, называемому «горизонтальным переносом генов» (horizontal gene transfer).

Когда рождается ребенок, его тело состоит из клеток, выросших из зиготы в процессе оплодотворения. Тело новорожденного получает строительный материал через материнскую плаценту и постепенно вырастает. В процессе жизни клетки нашего тела строятся из того материала, который мы употребляем в пищу. Поэтому все, что составляет наше тело, получено из пищи, которую мы съели.

Традиционно организмы получают ДНК от своих предков, что называется вертикальным переносом генов. Горизонтальный перенос генов заключается в передаче генетического материала другому организму, не являющемуся его потомком и не связанному с репродукцией.

Сторонники ГМО и лоббирующие их интересы организации заявляют, что горизонтальный перенос генов не делает игры, его влияние – редкость. Считается, что это явление возможно только в лабораторных условиях. Но правда ли это?

Согласно данным earthopensource, существует несколько вариантов, благодаря которым горизонтальный перенос генов становится реальностью в широком масштабе. Некоторые из них более вероятны и происходят легко и непринужденно повсеместно. Например, поглощение генов бактериями, поглощение ДНК из пищеварительного тракта в организме и перенос генов вирусами.

Бактерии. Бактерии постоянно обмениваются ДНК между собой и окружающей средой. Некоторые из приобретенных генов могут быть включены в их геном и приводить к изменениям. Например, в кишечнике человека ДНК с трансгенами могут сохраняться большими фрагментами и не терять биологической активности. Бактерии, присутствующие в пищеварительном тракте, могут включить его в свою собственную ДНК. Это может стать причиной развития устойчивости к антибиотикам.

Также измененная ДНК может стать частью генома почвенных бактерий. Каждый кубический сантиметр почвы содержит тысячи различных видов бактерий, лишь небольшой процент которых известен науке.

Некоторые известные почвенные бактерии способны включать ДНК, присутствующую в почве, в свой геном. Хотя это происходит

редко, генетически-модифицированная ДНК может сохраняться в почве до года, что увеличивает шансы на попадание трансгенов.

Agrobacterium tumefaciens. Например, почвенная бактерия Agrobacterium tumefaciens часто используется для внедрения чужеродных генов в растения при производстве ГМО. В результате инфекции A.Tumefaciens небольшие кольцевые молекулы ДНК (Ti-плазмиды) вводятся в клетки растений.

В лабораторных исследованиях было доказано, что A.Tumefaciens может загрязнять различные растения и грибы, а также клетки человека. Загрязнение некоторых хвойных растений сохраняется в течение года. А использование антибиотиков малоэффективно и, в конечном итоге, приводит только к размножению A.Tumefaciens.

Поглощение генов в кишечнике. Исследования на мышах доказали, что чужеродная ДНК, содержащаяся в пище, может попасть из пищеварительного тракта в кровь. Конечно, большая часть чужеродной ДНК фрагментируется прежде, чем попасть в кровь или ткани. Однако несколько достаточно больших цепочек также может транспортироваться и попасть в клетки.

Интегрированная ДНК вызывает мутации или перепрограммирует клетки на производство чужеродного белка, подобно вирусам. Однако такой сценарий все-таки является маловероятным. Хотя ученым удавалось обнаружить трансгенную ДНК в тканях организма, употреблявшего ГМО, доказать этот механизм пока не получалось.

Перенос генов вирусами. Вирусы являются эффективными средством переноса генов от одного организма к другому. Ученые часто пользуются этим в исследовательских целях. Например, так называемые «вирусные векторы» применяются для создания ГМ-культур. Однако за длительное время генетический материал может попасть и распространиться в окружающей среде.

Учитывая чрезвычайно широкое распространение ГМ-культур и их длительное использование, горизонтальный перенос генов может стать вполне заурядным явлением и приводить к загрязнению генома растений, животных и человечества. Чем выше доля ГМО в окружающей среде, тем выше шансы на изменение нашего генома.

В настоящее время в Республике Узбекистан нормативная база, регламентируется и ведется лабораторный контроль за ГМО. Это Санитарные Правила и Нормы 0185-05 «Требования к определению безопасности пищевой продукции, содержащей ГМО» (СанПИН 0185-05 ГМО).

В них даются рекомендации по гигиенической экспертизе и токсикологической оценке ГМО. Официально ввоз ГМО в Республику не запрещен, но и не разрешен из-за отсутствия законодательного регулирования этого вопроса.

Имеются различные факты завоза в страну ГМО, так например, завоз картофеля из Голландии в Сохский район Ферганской области, привел к потере своих видов картофеля, который славился своими вкусовыми качествами. Посадили Калифорнийский тополь, но после его скрещивания с другими видами тополя в Узбекистане привел к появлению «Тополиного пуха» в очень в большом количестве, при цветению и других тополей, таких как «Мирзотерак». Этот «Тополиный пух» вызвал всплеск аллергии у населения, чего не было раньше. Поэтому надо быть очень осторожными при завозе посадочного материала в страну.

Чумак А.А. Институт сверхтвердых материалов
им В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Полонский Л.Г. Житомирский государственный
технологический университет, Житомир, Украина

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСТОЧКИ ОТВЕРСТИЙ

Растачивание отверстий на токарных станках является широко распространенной технологической операцией. Финишная расточка, при высокой производительности, должна обеспечивать требуемую точность размеров, пространственного расположения осей отверстий, качество поверхности.

Эффективность механической обработки в каждом конкретном случае определяется сочетанием обрабатываемого и инструментального материалов, применяемыми режимами резания, геометрическими параметрами режущих инструментов, состоянием оборудования и другими технологическими факторами. Особое место занимает правильный выбор материала режущего инструмента [1–2], область применения которого определяется его физико-механическими и химическими свойствами.

Чистовое растачивание отверстий в деталях из закаленных сталей, отбеленных и специальных чугунов инструментом, оснащенным ПСТМ на основе КНБ, позволяет в ряде случаев отказаться от шлифования – традиционного способа получения поверхностей с шероховатостью менее *Ra* 1,25 [3].

Для решения задачи повышения эффективности применения режущих инструментов из сверхтвердых материалов при обработке закаленных сталей имеет место ряд подходов. Одним из них является совершенствование конструкции режущего инструмента. Другой связан с изменением условий взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в зоне резания за счет применения новых инструментальных композитов с более высокими физико-механическими свойствами.

Из-за пластических явлений в зоне резания, высота неровностей не соответствует рассчитанной исходя из кинематико-геометрических представлений о процессе обработки и превышает ее на величину, зависящую от глубины резания, геометрических параметров режущего инструмента и механических свойств обрабатываемого материала [1,3]. Это обусловлено пластическими явлениями в зоне резания и образованием перед сходящей стружкой волны деформации за счет наличия у инструмента главной и вспомогательной режущих кромок. В точке над передней поверхностью инструмента, соответствующей максимальным касательным напряжениям, происходит разделение материала на срезаемую и выдавливаемую части с последующим перемещением последней в сторону вершины формируемой неровности.

Уменьшить составляющую $H_{пл}$ можно применяя режущий инструмент с цилиндрической передней поверхностью, который работает в условиях косоугольного резания, характерной особенностью которого является наличие у инструмента угла наклона режущей кромки. В этом случае условия для пластической деформации в зоне сдвига более благоприятны, что проявляется в минимизации выдавливания металла в формируемую неровность. Кроме того, у инструментов с неплоской передней поверхностью проекция режущей кромки на основную плоскость имеет больший радиус кривизны, чем у обычных резцов, что также способствует снижению высоты микронеровностей. Шероховатость поверхности, обработанной резцами данного типа, до 2-х раз ниже, чем обработанной обычными резцами при условии равенства подач.

Инструмент с цилиндрической передней поверхностью характеризируется высокой производительностью. Формируемое при такой обработке высокое качество поверхности обусловлено двумя основными особенностями косоугольного резания значительным увеличением длины контакта между режущей кромкой инструмента и заготовкой и благоприятными (близкими к свободному резанию) условиями деформации удаляемого материала. Как следствие – отсутствует характерное для стандартного режущего инструмента течение обрабатываемого материала вдоль вспомогательной режущей кромки резца, приводящее к увеличению высоты неровностей.

Применение инструментальных композитов, из группы BL (по классификации ISO), к которым относят композиты с 45–65 об.% cBN, позволяет значительно увеличить скорость резания при обработке деталей из сталей высокой твердости.

Оснащение инструментов такими композитами, работающих по косоугольной схеме, позволяет значительно повысить эффективность процесса обработки, обеспечив высокую производительность за счет повышения подачи и скорости резания при достижении требуемого качества обработанных поверхностей деталей.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение : в 6-и т. / Под общей ред. Н. В. Новикова. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006.

Т. 5 : Клименко С. А. Обработка материалов лезвийным инструментом / [С. А. Клименко, А. А. Виноградов, Ю. А. Муковоз, и др.] – 2006. – 316 с.

2. Инструменты из сверхтвердых материалов. / Под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.

3. Неровности поверхности, обработанной безвершинным косоугольным инструментом, оснащенням ПСТМ на основе КНБ / А.С. Манохин, Н.Е. Стахнив, С.А. Клименко // Сверхтвердые материалы. – 2009. – № 2. – С. 61–70.

3. Чистовое точение износостойких наплавленных покрытий / Э.Е. Киппер, С.А. Клименко // Технологические методы повышения эксплуатационных свойств деталей машин: тез. докл. Укр. науч.-практ. конф., 1992, Севастополь. – Харьков : з-д ФЭД, 1992. – С. 26.

Шабайкович В.А. Луцький національний
технічний університет, Луцьк, Україна

ШЛЯХИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Аналіз зарубіжної та вітчизняної технічної літератури дозволяє визначити тенденції розвитку сучасного машинобудівного виробництва на найближче майбутнє. Вони передбачають шість напрямків розвитку: створення наукових основ, економію дорогих матеріалів і підвищення довговічності виробів, оптимізацію точності деталей та зниження собівартості виготовлення, скорочення технічної підготовки виробництва нових виробів, моделювання, віртуальні конструкції та технологічні процеси тощо. З 2000 р. починає панувати науковий та потенціально-орієнтований підхід з приділенням основної уваги виробам, які користуються попитом, засобам швидкого їх проектування, виготовлення. Мультимедійні системи і засоби здійснюють комунікацію між працівниками і машиною та поміж машинами. Рівень автоматизації виробництва підвищується за рахунок програмованих систем управління з високою здатністю роботи реального виробничого процесу зі здійсненням інтенсифікації потенціалу за допомогою високих комбінованих технологій та їх гібридів, інтелектуальних систем, тощо.

Машинобудування, як основна галузь промисловості, потребуватиме значного підвищення автоматизації всіх технологічних процесів. Можна вважати, що основними проблемами машинобудування, що впливатимуть на його розвиток, будуть удосконалення та розробка нових: концепцій CIM, де використовується ряд проблемно-орієнтованих систем CAD/CAM/CAE, CAP, SFS, PPS, CAQ, TQM, MRP, OPT, TPM, JIT, ATM і багатьох інших; систем проектування виробів з використанням модульних конструкцій, деталей з композитів, спрямованих на поліпшення експлуатаційних властивостей виробів, підвищення їх якості та конкурентності, зниження виробничих витрат; застосування інтегрованих модульних технологій виготовлення деталей, нових типів технологічного обладнання та оснащення з широким застосуванням елементів штучного інтелекту; систем організації та управління виробництвом, які базуються на концепціях маркетингу, логістики та інновацій.

Проблеми машинобудування лежать у площинах конструкції, технології, організації та якості виробів, що випускатимуться. Щодо

конструкції виробу, то це в першу чергу її безпосередня підготовленість до конкретних умов виробництва. Друге, це модульність конструкції та технологій, при якій об'єкт структурно складається з добре відпрацьованих і зістикованих між собою автономних взаємозамінних модулів. На цьому етапі закладається рівень якості виробу *CAQ*, який забезпечується як методикою автоматизованого проектування, орієнтованою на наступне виробництво і навіть майбутню експлуатацію, так і кваліфікацією проектувальників.

Основними характеристиками прогресивних технологій нового покоління є якісно нова сукупність властивостей виробів і як наслідок – якісно нова міра корисності виробів. Їх особливостями будуть: наукомісткість, висока інформаційність і комп'ютерність, високий рівень електрифікації та енергозабезпечення, оптимальність технологічного процесу, нові методи виготовлення виробів, їх складання, прогресивні способи виробництва, висока степінь автоматизації всіх рівнів, стійкість і надійність, екологічна чистота, відкритість подальшому розвитку. Забезпеченням таких технологій є висококваліфіковані кадри, прогресивні технологічні системи і спеціальні технологічні середовища. Відомі тенденції подальшого розвитку технології машинобудування, до яких відносяться: підвищення концентрації та паралелізму технологічних процесів, що забезпечує підвищення продуктивності; створення нетрадиційних просторових структур обробки, що реалізують розширення їх технологічних можливостей; компонування технологічних місць обробки в лінійні, поверхневі та об'ємні структури, їх компоновка в виробничі комірки; компонування виробничих комірок в просторові структури з заповненням ними всього простору виробничого цеху з можливістю зміни їх просторового розміщення; підвищення степені компактування структури за рахунок підвищення щільності технологічних місць обробки; підвищення неперервності та стійкості функціонування технологічних систем; підвищення інформаційності технологій, зменшення маси технологічних систем і підвищення їх енергозабезпеченості; створення технологічних процесів і систем з використанням принципів механотроніки; спрощення функціональної структури за рахунок суміщення різних функцій систем, виконання технологічних функцій одночасно з транспортними; застосування комплексних систем діагностики, контролю та управління технологічними процесами.

В майбутній технології машинобудування з її різноманітністю цілей та завдань, що виникають під час прийняття конструкційних,

технологічних, організаційних і інших рішень, з зростаючою складністю та обмеженнями вимагається широка комп'ютерна підтримка, але не тільки. В умовах невизначеності та неповної суперечливої інформації ситуацій, утрудненої формалізації даних при неоднозначному визначенні критеріїв і обмежень найкращими для застосування можуть бути інтелектуальні системи прийняття рішень. Для ефективної роботи таких систем необхідні методи попереднього аналізу, класифікації та обробки нечітких знань за допомогою штучних і нечітких нейронних мереж, основ вибору та використання найбільш придатного типу мережі в залежності від характеру задачі, ідентифікації структури нечіткої системи з генеруванням її нечіткої бази, навчання інтелектуальних систем, а особливо інтерактивні алгоритми рішення багатокритеріальних задач оптимізації за допомогою генетичних алгоритмів і пакетів прикладних програм прийняття рішень IDSS (Intelligent Decision Support System), таких як Neural Solution, Statistical Neural Networks, Genetic Library, Fuzzy Logic Toolbox for Matlab і багатьох інших.

Може бути корисним використання самоорганізації технологічних процесів. Згідно принципу Бора, як тільки перестає діяти організуючий чинник, починається самоорганізація такої системи під дією чинника випадковості, наприклад, зношування інструменту, з'єднання деталей, розфіксація та інше. В певний момент часу виникають такі навантаження, при яких починають діяти шкідливі чинники, правильний розвиток технологічної системи припиняється і може наступати біфуркація, тобто катастрофа. Але така біфуркація виникатиме не завжди, а розвиток технологічної системи в часі проходить в визначеному каналі еволюції чи аттракторі. В момент біфуркації технологічна система якби відсікає все попереднє, тобто спадковість і починає діяти по-новому, а біфуркація може розглядатися, як такий бар'єр. При цьому нова поведінка системи принципово непередбачувана і визначається цілком новими умовами, які до цього не мали ніякого значення, але можна передбачувати подальші тенденції її еволюції. При цьому значним є відсутність знань про такі процеси, а точніше про фізичні явища та можливе їх використання.

Основним висновком з положень синергетики для технології машинобудування є те, що використовуючи різні способи створення бар'єрів по руху технологічних процесів, розробки систем, що самоорганізуються, та управління їх еволюцією можна підвищити якість оброблюваних деталей. Функціонування технологічної сис-

теми, що самоорганізується, визначається сукупністю одночасної дії багатьох випадкових чинників. При цьому, не гарантується як стабільність такої системи, так і якість деталей, а це вимагатиме подальших теоретичних і експериментальних досліджень. Вирішення цієї основної проблеми є в використанні головної властивості систем, що самоорганізуються, «втрати пам'яті», тобто втрати первісних властивостей та побудови нових з розвитком корисних і усуненням шкідливих.

Можна виділити шість основних напрямків розвитку комп'ютерно-інтегро-ваного виробництва: науково-теоретичний, конструкційний, технологічний, програмний, організаційний та експлуатаційний з використанням концепції багатомірного комп'ютерного інтегрування на базі об'єднаних мережних і інтелектуальних технологій.

Матиме велике значення швидкий пошук повномасштабної інформації в Interneti, який проводиться автоматично за пошуковими сервісними програмами, орієнтованими на плановий пошук в WEB і групах новин. Будь які помилки при цьому (побудова запиту, неоптимізована послідовність, прискорений пошук і т.п.) затягують одержання правильного результату. Тому спочатку проводиться всебічний лексичний аналіз пошукової інформації, на базі чого формується повний набір головних і допоміжних ключових слів. Після цього вибирається інформаційне поле Internet та пошук інструментів, уточнюється послідовність їх застосування. При пошуку значно збільшується значення регіональних і спеціалізованих пошукових серверів. Тому важливе значення матимуть пакети методик для реалізації Internet-систем, які включають методики мережного електронного каталогу, системи "on-line" обробки запитів, проектування та реалізації технологічних процесів тощо.

Література

1. Технологія виготовлення деталей виробів: Навчальний посібник / В.В. Божидарнік, Н.С.Григор'єва, В.А.Шабайкович – Луцьк: Надстир'я, 2006. – 592 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Абдуллаева М.А., Жалилов Л.С. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС 3

Аверченков В.И., Надуваев В.В., Фролов Е.Н. ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ 10

Аверченков В.И, Надуваев В.В., Фролов Е.Н. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ НАНОАЛМАЗОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ 12

Акулович Л.М., Литвин С.М. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ 15

Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Сенчуров Е.В., Дубновицкий С.К. СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО НА ОСНОВЕ ОКСИЭТИЛИРОВАННЫХ АЛКИЛФЕНОЛОВ ДЛЯ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 18

Анкуда С.Н., Хейфец И.М., Федоров В.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА 22

Бажин А.Г., Погудин С.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЕДИНЕНИЙ С ТОНКОСТЕННОЙ ДЕТАЛЬЮ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ 26

Балицкая Н.А., Крижановский В.Б., Мельничук П.П., Москвин П.П., Рудницкий В.А. МОНОФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО РЕЛЬЕФА ПЛОСКОСТЕЙ, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ 29

Білякович О.М., Варюхно В.В., Личик В.І. ДО ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗНОШУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРИБОСПОЛУ-ЧЕННЯХ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 31

Бойко М.Н., Горбунов Д.А., Кривощеков В.Е. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА 35

Бондаренко Ю.К., Артюх К.О., Логінова Ю.В.
АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ І МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ КОНСТРУКЦІЙ 38

Бондаренко Ю.К., Логінова Ю.В., Артюх К.О.
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РОЗПІЗНАВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ І РАНЖУВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ 44

Боримский А.И.
МАЛОГАБАРИТНЫЙ АППАРАТ ТИПА «БЕЛТ» ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ 49

Боримський І.О.
МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ЩІЛЬНИХ МОДИФІКАЦІЙ НІТРИДУ БОРУ ПРИ ВИСОКОМУ ТИСКУ І ВИСОКІЙ ТЕМПЕРАТУРІ (ОГЛЯД) 51

Бояринова В.Г., Домуладжанова Ш.И., Курбанова У.С.
СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОТРАНСПОРТА 55

Бугров Ю.Н., Лизогуб В.А.
ВИХРЕВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 59

Бурлаков В.И.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ 63

Бурыкин В.В., Яновский В.А.
СБОРНЫЙ ОТРЕЗНОЙ РЕЗЕЦ ИЗ ПСТМ ДЛЯ РАЗРЕЗКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ 66

Влайков Г.Г., Барабаш М.Ю. Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю., Погребняк Л.Л., Джуренко Б.І., Рябов Л.В. Мартинчук В.Є.
УПОРЯДКУВАННЯ НАНООБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕМПЛАТІВ 68

Волкогон В.М., Аврамчук С.К., Степаненко А.В., Федоран Ю.А., Кравчук А.В., Бужанская И.И.
ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ «BN_B–АЛМАЗ» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗА ПРИ ЕЕ СПЕКАНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ 71

Волкогон В.М., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Бобер М.В., Кутрань Т.Н.
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА БОРА 73

Волкогон В.М., Степаненко А.В., Котляр Д.А., Аврамчук С.К., Кутрань Т.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕХИОМЕТРИЧНОСТИ ПОРОШКОВ КАРБИДА БОРА 76

Воскобойников Д.Г., Гребенюк В.А.
АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ РАЗРУШЕНИЯ АВТОСЦЕПКИ СА-3 82

Глембоцкая Л.Е., Балицкая Н.А., Мельник А.Л.
ПРОЦЕСС ЧИСТОВОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ 84

Голякевич А.А., Евтушенко В.В.
НОВАЯ ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ И УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ИЗ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ 86

Голякевич А.А., Упырь В.Н., Нестыкайло В.В.
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК ПРИ РЕМОНТЕ ВАГОНОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 87

Гончаров О.С.
ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ 90

Грецкий Н.Л., Волотовский Ф.А., Корзун А.Е., Хилько Д.Н., Хейфец М.Л.
ПОСЛОЙНОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 92

Гречихин Л.И., Куць Н.Г., Добровольська Л.Н.
ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАДИОШУМА 96

Гречук А.И, Девин Л.Н.
КОНСТРУКЦИЯ СВЕРЛА СО ВСТАВКАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ 98

Григор'єва Н.С.
ОСНОВИ ВІРТУАЛЬНОЇ РОЗРОБКИ МОДУЛЬНИХ СКЛАДАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ 101

Девин Л.Н, Бондаренко В.П., Барановский А.М., Рычев С.В., Андреев И.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ СТРУКТУРЫ СУХИХ ТОРЦЕВЫХ ГАЗОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ УЗ ДЕФЕКТОСКОПИИ 105

Девин Л.Н., Гречук А.И., Гаевский М.Л.
ВЛИЯНИЕ ЗАДНЕГО УГЛА НА ИЗНОС РЕЖУЩИХ КРОМОК СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА 107

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е, Мельничук Ю.А.
ИСЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ИЗ КОМПОЗИТА «АЛМАЗ – КАРБИД ВОЛЬФРАМА» НА ПРОЦЕСС ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ 110

Добровольська Л.Н., Куць Н., Собчук Д.
ВИЗНАЧЕННЯ СТАРТУ МАКРОТРІЩИНИ ЗА ЯКІСНОЮ ЗМІНОЮ 113

Довгаль А.Г., Курбет Л.В., Данилейко О.В.
ВІДНОВЛЕННЯ ТА ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ УСТАНОВОК АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ 114

Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Бояринова В.Г.
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД 117

Домуладжанова Ш.И., Домуладжанов И.Х., Содикова Ш.Ш.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ – ВЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ 121

Зяхор И.В., Кучук-Яценко С.И., Завертанный М.С., Чорнобай С.В.
ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИДОВ ТИТАНА ЧЕРЕЗ ПРОСЛОЙКИ ИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ФОЛЬГ С НЕОДНОРОДНОЙ ПО ТОЛЩИНЕ МИКРОСТРУКТУРОЙ 124

Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г., Михеев Р.С., Хейфец М.Л., Клименко С.А., Копейкина М.Ю.
КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ БАББИТА Б83, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ НА СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ 127

Калентьев Е.А., Тарасов В.В.
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КАНАТАХ 130

Кленов О.С., Новиков Ф.В.
УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЖУЩИМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ФИРМЫ ISCAR 134

Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Мановицький О.С., Копейкіна М.Ю.
ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РІЗЦІВ, ОСНАЩЕНИХ НОВИМИ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИМИ НАДТВЕРДИМИ КОМПОЗИТАМИ 138

Клименко С.Ан., Манохин А.С., Муковоз С.Ю., Муковоз Е.А.
ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ 141

Константинов В.М., Булойчик И.А.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ТРЕБУЮЩИХ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОВЫШЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ 144

Константинов В.М., Ковальчук А.В., Ткаченко Г.А.
К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТОНКИХ ТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ 146

Корбут Є.В. НТУ України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», Київ, Україна
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ ПКМ 149

Корзун А.Е., Волотовский Ф.А., Бородавко В.И., Пынькин А.М., Гайко В.А., Хейфец М.Л.
УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В МЕХАТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ 151

Лабунець В.Ф., Загребельний В.В., Паньков Р.В., Земляний А.О.
ВИЗНАЧЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ 154

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Петасюк Г.А., Шатохин В.В., Смоквина В.В., Пасичный О.О., Зайцева И.Н.
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ И ГЕОМЕТРИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА 156

Лавриненко В.И., Пасичный О.О., Ильницкая Г.Д., Полторацкий В.Г., Солод В.Ю., Музычка Д.Г., Поизд И.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ 160

Лавриненко В.И., Пащенко Е.А., Ткач В.Н., Ильницкая Г.Д., Шатохин В.В., Смоквина В.В., Пасичный О.О., Девицкий А.А., Зайцева И.Н.
МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ 162

Лойко В.А., Ивашко В.С.
УПРОЧНЕНИЕ ТЕПЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ НАНЕСЕНИЕ Al-Fe ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ПОКРЫТИЙ 165

Ляшенко Б.А., Мірненко В.І., Ткач М.Я., Радько О.В.
ВАКУУМНЕ ГАЗОТЕРМОЦИКЛІЧНЕ ІОННО-ПЛАЗМОВЕ АЗОТУВАННЯ ЗАМКОВИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ 169

Макій Ю.А., Посвятенко Н.І.
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГУСЕНИЧНОГО РУШІЯ ВАЖКИХ КАР'ЄРНИХ МАШИН 171

Максимова С.В., Воронов В.В., Ковальчук П.В., Ларионов А.В.
СТРУКТУРА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МОЛИБДЕН-НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ 174

Мамиров И.Г., Матбабаева Н.Н.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЗАМАСЛИВАТЕЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЦЕТАТНЫХ НИТЕЙ 177

Манохин А.С., Клименко С.А., Береснев В.М., Когай Е.И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ PCBN С НИТРИДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ 183

Манохін А.С., Клименко С.А., Чумак А.О.
ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСКОЛЮВАННЯ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ ПНТМ НА ОСНОВІ cBN 186

Мельник В.Б., Кіндрачук М.В., Нечипорук В.В., Пузік С.О.
УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ГРАНИЧНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ШАРІВ У ЛОКАЛЬНОМУ КОНТАКТІ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ 188

Мокош Л., Старзицзны П.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ (EX) 191

Найденко А.Г., Манохін А.С., Закієв І.М.
ОЦІНКА СТАТИСТИЧНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СКЛЕРОМЕТРУВАННЯ ТА FR-МЕТОДУ 193

Овчинников В.С., Сивцев Н.С., Лукин Е.В., Шубина М.И.
СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ 195

Огульчанская Н.Р.
ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ШЛИФОВАНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ПРИЖОГОВ В РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЯХ 198

Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д.,Базалий Г.А., Сизоненко О.Н.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО РАЗМЕРАМ НАНОПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБРАБОТКИ 201

Парницкий А.М., Сенють В.Т.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ 204

Пачурин В.Г.
КОРРЕЛЯЦИЯ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ С РАЗМЕРОМ ЗЕРНА РЕССОРНОЙ СТАЛИ 50ХГФА 208

Перепічай І.І., Перепічай А.О., Рабкіна М.Д., Мутас В.В.
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО РЕМОНТУ ЗВАРЮВАННЯМ КОЖУХОТРУБНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ 211

Петасюк Г.А., Лавріненко В.І., Сирота Ю.В., Косенчук Т.О.
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІНИ ОДНОРІДНОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ЗА МОРФОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТА ЗА СТАТИЧНОЮ МІЦНІСТЮ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ ЇХ МАРОК І ЗЕРНИСТОСТІ 215

Петрусенко Л.А., Антонюк В.С.
ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ 221

Pihl T.
THE RENOVATION TECHNOLOGY WITH COMBINED METHODS 223

Полвонов Х.М.
СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА 231

Полянский В.И., Новиков Ф.В.
УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ 236

Посвятенко Е.К., Аксьом П.А., Мельник О.В.
ПРО ВПЛИВ ДИСЛОКАЦІЙ НА ФІЗИКО−МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ФЕРИТНИХ ТА АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ 239

Посвятенко Е.К., Сабадаш Б.М.
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ 241

Потапьевський А.Г., Бондаренко Ю.К., Артюх К.О.
АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕМ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 244

Радько О.В., Науменко Н.О., Мєдвєдєва Н.А., Скуратовський А.К.
УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ПІДПРИЄМСТВІ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ 248

Рахматов Г.Р
СУШКА ХЛОПКА-СЫРЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 251

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Бодунов В.Є.
МЕТОДИКА ПРЕЦИЗІЙНОГО ПРЕПАРУВАННЯ БАЛІСТИЧНО ПОШКОДЖЕНИХ ЗАХИСНИХ СКЛОЕЛЕМЕНТІВ 254

Родічев Ю.М., Сорока О.Б., Шабетя А. А.
МЕТОД КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНГО СТАНУ БАЛІСТИЧНО ПОШКОДЖЕНИХ БАГАТОШАРОВИХ СКЛОЕЛЕМЕНТІВ 256

Роїк Т.А., Віцюк Ю.Ю., Олійник В.Г.
ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН ПРИ АЛМАЗНОМУ ШЛІФУВАННІ 259

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Покрасина Е.М. ВЛИЯНИЕ ЗАКАЛКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 30ХГСА 263

Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.
ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ВЫСОКОПОРИСТЫМИ КРУГАМИ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОРУНДА 266

Сорочак О.З., Гвоздь М.Я.
ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ РЕИНЖИНИРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ 267

Сороченко В.Г.
ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ НАНОДИСПЕРСНИХ ПОРОШКІВ НА ТВЕРДІСТЬ РОБОЧОГО ШАРУ ІНСТРУМЕНТА ІЗ КНБ І ПОКАЗНИКИ ОБРОБЛЮВАНОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ 270

Сороченко В.Г.
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕКАНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ 272

Тимофеев С.С., Демин А.Ю.
КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ 274

Тимофеєва Л.А., Комарова Г.Л.
ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ 276

Тимофеева Л.А., Федченко И.И.
ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 278

Титаренко В.И., Лантух В.Н., Мудранинец И.И.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ УСТАНОВОК 281

Харламов Ю.А.
ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ 288

Холмирзаев Ю.М.
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА ГЕННОМОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОРГАНИЗМАМИ 293

Чумак А.А., Полонский Л.Г.
РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАСТОЧКИ ОТВЕРСТИЙ 296

Шабайкович В.А.
ШЛЯХИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА 299

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 17-го Международного научно-технического семинара,
20–24 февраля 2017 г., г. Свалява, Карпаты

Компьютерная верстка
Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 06.02.2017
Формат 60×84×1/16. Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 26.
Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2