Association of Machine-Building Technologists of Ukraine
Academy of Technological Sciences of Ukraine
V.N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS of Ukraine
Kyiv National University of Technologies and Design
Ukrainian State University of Railway transport
SPE "REMMASH" Ltd
SPE "TM.VELTEK" Ltd.
AE "BEST-BUSINESS"
PJSC "Ilnitsa Plant of Mechanical Welding Equipment"
Association of Russian Tribology Engineers
A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of the RAS
Bryansk State Technical University
SSPE "Center" of the National Academy of Sciences of Belarus
Belarusian National Technical University
Machinebuilding Faculty of the Belgrade University
Publishing house "Innovative Mechanical Engineering"

MODERN QUESTIONS OF PRODUCTION AND REPAIR IN INDUSTRY AND IN TRANSPORT

Materials of the 18th International Scientific and Technical Seminar

(February 10–16, 2018, Brno, Czech Republic)

Kyiv –2018

Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Материалы 18-го Международного научно-технического семинара, 10–16 февраля 2018 г., г. Брно. – Киев : АТМ Украины, 2018. – 252 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 в машино- и приборостроении
- 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
- Метрология, технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2018 г.

Антонюк В.С. НТУ Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев
Яценко И.В., *Ващенко В.А.* Черкасский государственный технологический университет,
Гордиенко В.И. ГП НПК “Фотоприбор”,
Кириченко О.В. Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля, Черкассы, Украина

ОСОБЕННОСТИ ЕЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В настоящее время электронно-лучевая технология находит все более широкое применение в оптико-электронном приборостроении, так как позволяет, в отличие от традиционных методов подготовки и обработки оптических элементов (механических, химических и др.), получать поверхности высокой чистоты с минимальной микрошероховатостью, а также бездефектные модифицированные слои [1].

Однако, использование при обработке криволинейных поверхностей оптических элементов (вогнутых, выпуклых, цилиндрических, сферических, участков двойной кривизны и др.) подвижного единичного электронного луча на данный момент сталкивается с непреодолимыми трудностями [2–3].

Это обусловлено тем, что для качественной обработки криволинейных поверхностей необходимо знать законы изменения режимов электронно-лучевой обработки (плотности теплового воздействия F_n, коэффициента сосредоточенности k (острота теплового импульса) и скорости перемещения луча V), которые обеспечивают в процессе обработки равномерное тепловое воздействие вдоль всей обрабатываемой поверхности. В противоположном случае обязательно будут образовываться перегретые участки на поверхности, что приведет к появлению трещин, отколов или зон интенсивного испарения. При этом на периферийных участках вследствие более низкой температуры (интенсивный теплообмен с внешней средой) будут возникать выпуклые участки (так называемые “наплывы”) и волнообразные поверхности. Это приводит к нарушению геометрической формы оптических элементов и их дальнейшему разрушению.

На данный момент указанная оптимальная задача реализации заданного теплового воздействия с помощью подвижного источни-

ка тепла в полном объеме не решена. В первую очередь, это касается нахождения оптимального закона измерения скорости движения электронного луча в процессе обработки.

Это обусловлено тем, что такая задача относится к числу сложных нелинейных задач оптимального управления подвижным воздействием, теоретическое решение которой отсутствует, а есть только несколько достаточно приближенных многочисленных оценок оптимальных законов изменения скоростей движения тепловых воздействий [1]. Еще более сложной задачей является создание как на плоских, так и криволинейных поверхностях оптических элементов функциональных микропрофилей сложной формы с помощью единичного подвижного электронного луча. В данном случае необходимо создавать с помощью единичного электронного луча уже не равномерное, а сложно распределенное тепловое воздействие вдоль поверхности элементов.

Поэтому в работе предлагается новый метод решения указанных технологических задач с помощью системы дискретно расположенных неподвижных электронных лучей (рис. 1).

Согласно разработанного метода задача реализации решалась с помощью дискретно расположенных неподвижных источников теплового воздействия гауссовского типа (рис. 2) с разными амплитудами (максимальные значения плотности теплового воздействия электронных лучей F_{nj}, $j = \overline{1, N}$) и коэффициентами сосредоточенности k_j ($j = \overline{1, N}$), которые размещались на расстоянии l_j($j = \overline{1, N}$) от обрабатываемых поверхностей оптических элементов [3].

Согласно результатам зондирования распределение плотности теплового воздействия j-го ($j = \overline{1, N}$) электронного луча вдоль координаты x обрабатываемой поверхности элемента описывается законом Гаусса:

$$F_{nj}(x) = \frac{1}{B \cdot \sqrt{\pi}} \cdot \sum_{j=1}^{N} \frac{I_{лj} \cdot V_{yj}}{erf(a_{rj})} \cdot \sqrt{k_{0j}(I_{лj}, l_j)} \cdot e^{-k_{0j}(I_{лj}, l_j)\cdot(x-s_j)^2} \quad (1)$$

$$erf(a_{rj}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{a_{rj}} e^{-t^2} dt, \quad (2)$$

где B – ширина электронных лучей ($B = 6 \cdot 10^{-2} \ldots 8 \cdot 10^{-2}$ м), $I_{лj}$, V_{yj}, k_{0j} – токи, ускоряющие напряжения и коэффициенты сосредоточенности лучей; $k_{0j} = \frac{1}{2\sigma_j^2} = a_{0j} + a_{1j} \cdot l_j + a_{2j} \cdot I_{лj} + a_{3j} \cdot I_{лj} \cdot l_j$ – коэффициенты сосредоточенности (острота тепловых импульсов) лучей; a_{rj} ($r = \overline{0,4}$) – эмпирические константы.

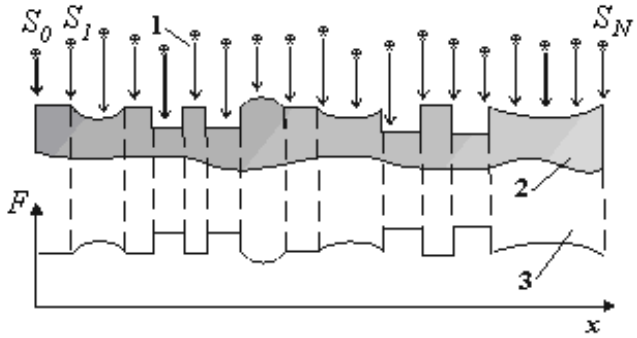


Рисунок 1 – Схема создания функциональных микропрофилей на поверхности оптических элементов: *1* – системой дискретно расположенных неподвижных электронных лучей (s_0, s_1,…s_n); *2* – заданный микропрофиль; *3* – сложнорспределенное тепловое воздействие вдоль поверхности, которое необходимо реализовывать путем оптимизации параметров лучей

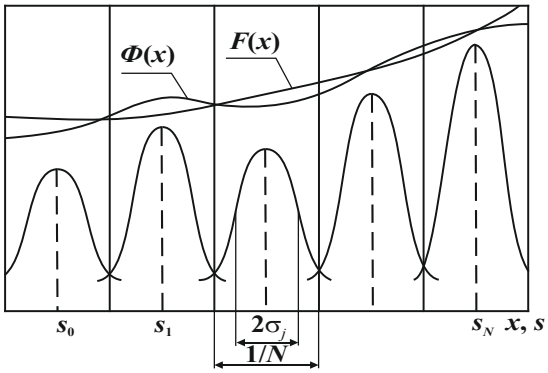


Рисунок 2 – Схема приближения к распределенному тепловому воздействию *F*(*x*) вдоль поверхности оптического элемента совокупности дискретно расположенных неподвижных источников s_j ($j = \overline{1, N}$) теплового воздействия гауссовского типа Ф(*x*)

Количество дискретных источников N и параметров $I_{лj}$, V_{yj} и l_j ($j = \overline{1, N}$) выбирают таким, чтобы приближение $F(x)$ функцией Ф(x) было минимальным:

$$S = \sum_{i=1}^{M}\left[\frac{1}{B\cdot\sqrt{\pi}}\cdot\sum_{j=1}^{N}\frac{I_{лj}\cdot V_{yj}}{erf\left(a_{rj}\right)}\cdot\sqrt{k_{0j}\left(I_{лj},l_j\right)}\cdot e^{-k_{0j}\left(I_{лj},l_j\right)\left(x_i-s_j\right)^2}-F\left(x_i\right)\right]^2 \to \min_{\substack{N,I_{лj},\\ V_{yj},l_j}} \quad (3)$$

В результате проведенных численных экспериментов для заданных распределений $F(x)$ (равномерного, параболического, гиперболического и др.) установлено, что, например, для N = 5–7 приближения суммарного Ф(x) от единичных лучей до заданного $F(x)$ достигается в пределах 3–5% в режиме реального времени. Также показано, что увеличивая количество источников электронных лучей (до 50–70) можно достичь высокой точности (относительная погрешность до 10^{-4}–10^{-5}) соответствия заданным распределенным тепловым воздействиям вдоль обрабатываемых криволинейных оптических элементов заданной геометрической формы.

Используя полученные зависимости (1)–(3) можно технически реализовать разработанный метод в виде автоматизированной системы управления технологическим процессом электронно-лучевой обработки поверхностей оптических элементов различной геометрической формы и создания на них функциональных микропрофилей [4].

Таким образом, предложенная электронно-лучевая технология обработки с помощью системы единичных дискретно расположен-

ных электронных лучей дает возможность высококачественно обрабатывать различные криволинейные поверхности оптических элементов и формировать на них функциональные микропрофили, которые могут быть использованы для изготовления элементной базы в микрооптике, интегральной и волоконной оптике и других областях оптико-электронного приборостроения.

Литература

1. Ващенко В.А. Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів // В.А. Ващенко, І.В. Яценко, Ю.Г. Лега, О.В. Кириченко. – К.: Наук. думка, 2011. – 562 с.

2. Improvement of optical characteristics of components of optoelectronic devices in the harsh conditions of their functioning by using electron beam technology / I. Yatsenko, V. Antoniuk, O. Kiritchenko et al. // Int. Sci. J. Mat. Sci. Nonequilibrium Phase Trans. – 2017. – 2. – P. 42–48.

3. Яценко І.В. Дослідження залежностей енергетичних характеристик СЕП від його керованих параметрів при впливі на вироби мікрооптики і інтегральної оптики / І.В. Яценко // Тр. Одеського политехнич. ин-та. – 2009. – 2 (32). – С. 143–149.

2. Патент № 119627 Україна МПК С04С 23/00. Спосіб обробки криволінійних поверхонь / І.В. Яценко, В.С. Антонюк, В.А. Ващенко // Бюл. «Пром. власність». – 2017. – № 18.

Базров Б.М. Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН,
Корешков В.Н., Чуйко М.Г. Евразийская
экономическая комиссия, Москва, Россия,
Хейфец М.Л. Отделение физико-технических
наук НАН Беларуси, Минск,
Попок Н.Н. Полоцкий государственный
университет, Новополоцк, Беларусь

УНИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ТИПОВЫХ, ГРУППОВЫХ И МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

В современном производстве, представляющим собой сложную самоорганизующуюся систему, взаимовлияние материальных и информационных потоков носит кооперативный характер. В результате целесообразно в комплексе проектировать и внедрять как

новые продукцию, работы и услуги, так и новейшие достижения в области ресурсосберегающих и информационных технологий, обеспечивая качество товаров, соответствующее запросам потребителей. Поэтому внедрение новых технологий требует рассмотрения не только всех этапов жизненного цикла изделия, но и всех стадий принятия конструкторско-технологических и организационно-экономических решений с единых позиций в рамках синергетического подхода.

Автоматизация сквозного проектирования и принятия конструкторско-технологических решений с учетом организационно-экономических особенностей предприятия требует формализации объектов и процессов производства на базе их классификации и кодирования.

Статистический анализ кодированной на основе классификации информации об объектах и процессах производства позволяет провести унификацию и регламентацию для разработки ограничительных перечней и технологических инструкций, используемых в стандартах предприятия. При выборе количества ограничительных перечней и числа позиций в них целесообразно рассмотреть взаимосвязь противоречивых по надежности и адаптивности требований к системе технологической подготовки производства.

Соотношение надежности – устойчивости и адаптивности – эволюции является критерием, позволяющим принять решение о рациональной структуре подготовки производства. В самоорганизующихся системах надежностью и адаптивностью можно управлять, изменяя число подсистем, их элементов и параметров. Каждая подсистема S производства с фиксированным числом характеристик имеет выходы: строго определенный детерминированный q_1 и флуктирующий, с рассеянными характеристиками q_2. При аддитивности величины полного выхода системы, в первом приближении его можно рассмотреть с помощью предельной центральной теоремы.

Полный выход увеличивается пропорционально числу подсистем n, их элементов и параметров, в то время как величина рассеяния растет только как $\sqrt{n}$. Эти оценки основаны на анализе линейного соотношения выходов $q^{(s)}$ подсистемы. На самом же деле обратная связь, присущая нелинейным уравнениям, описывающим кооперативные процессы движения материальных и информационных потоков, приводит к еще более значительному подавлению рассеяния характеристик.

Управление надежностью и адаптивностью системы на стадии подготовки производства изделий осуществляется путем формирования необходимого количества ограничительных перечней на материалы, конструктивно-технологические элементы деталей, инструменты, средства оснащения, оборудование и т.п., а также определения оптимального числа позиций в ограничительных перечнях при унификации объектов и процессов производства.

Согласно синергетическому подходу в первую очередь целесообразно выявить количество устойчивых связей в информационной системе технологической подготовки производства, так как они определяют число элементов и параметров, выбираемых или назначаемых для формирования ограничительных перечней.

Применительно к подготовке производства вначале осуществляется разделение на группы типоразмеров по номенклатуре конструктивно-технологических элементов деталей, приспособлений, инструментов, оборудования для их получения и контроля, а также структур, описывающих технологические и метрологические операции. Затем проводится анализ полученных интервалов, определение вероятностных характеристик по всем интервалам, их суммирование и усреднение, а также последующая унификация объектов производства.

Изолирование полученных интервалов, использование их вероятностных характеристик и стабилизация системы после проведенной унификации на определенный условиями производства срок – путь к созданию и использованию ограничительных перечней в многономенклатурном производстве.

Основой автоматизации технологической подготовки производства являются унификация и регламентация объектов и процессов, в результате которых формируются ограничительные перечни конструктивно-технологических элементов деталей, инструментов и средств оснащения для их получения и контроля, а также инструкции, описывающие использование инструментов и оборудования. Унификация и регламентация проводятся посредством статического анализа информации о вероятностных характеристиках рассматриваемых объектов и процессов в условиях открытых изменяющихся подсистем и их элементов, описывающих многономенклатурное производство.

Согласно делению методов автоматизации подготовки производства на метод типовых деталей и техпроцессов метод аппликаций и структурно-параметрический метод, способы описания объектов унификации можно классифицировать по кодированию формы, ко-

дированию перемещений образующих и направляющих линий, кодированию формы образующих и перемещений направляющих линий.

Способ кодирования формы типовых деталей, конструктивно-технологических элементов, поверхностей используется при типизации технологических процессов и при создании групповых технологий.

Способ описания перемещений направляющих и образующих линий, контуров, инструментов включает в себя системологию формообразования поверхностей и используется при обработке на станках с ЧПУ.

Комбинированный способ кодирования формы образующих контуров инструментов и описания движения направляющих линий включает в себя элементы рассмотренных способов и может использоваться во всех типах производства.

При автоматизации подготовки производства построенного на модульных технологиях необходимо рациональным образом сочетать перечисленные способы.

Целесообразность использования каждой из классификаций в условиях реального производства можно определить, только изучив статистику применения конструктивно-технологических элементов и поверхностей, специальных и универсальных инструментов. При этом выделяются наиболее используемые позиции и устойчивые связи для всех способов кодирования, а затем они ограничиваются до определенного числа в дальнейшем применении.

Для повышения надежности функционирования системы технологической подготовки производства, при снижении ее адаптивности целесообразно уменьшить количество необходимых позиций и параметров, подлежащих оптимизации, при этом они переходят в разряд ограничений. Ограничения можно задавать или изучив инструменты и определив их количество, или рассмотрев конструктивные элементы детали с точки зрения размеров, точности и качества поверхностей с последующим определением размеров и класса точности инструментов, их количества в наборе и на смежных операциях.

Таким образом, различные способы классификации, объектов унификации позволяют, используя кодирование, провести статистическую обработку по рациональным для данного производства параметрам с учетом заложенных ограничений. Это позволяет выявить объекты и их свойства, чаще всего используемые на предприятии, и сформировать ограничительные перечни, наиболее эффективные для конкретного производства.

Барабаш М.Ю., Влайков Г.Г., Колесниченко А.А.,
Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартынчук В.Е.
Технічний центр НАН України, Київ, Україна

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭТАЛОНА

Целью работы является создание оборудования для измерения теплопроводности поверхностных слоев и покрытий с использованием стационарного метода определения теплового потока с применением эталона. Разработана установка с использованием сравнительного метода измерения теплопроводности с формированием в образце стационарного одномерного теплового потока и регистрацией данных на компьютере.

Установка состоит из тепловой камеры, двух дифференционных усилителей, двухканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП), подключенного к персональному компьютеру (ПК). Тепловая камера имеет нагреватель с температурой T_1, холодильник с температурой $T_2<T_1$. Две трубчатые вставки диаметром 10 мм с толщиной стенок 1 мм [1]. Наружными торцами вставки вставлены в нагреватель и холодильник тепловой камеры с температурой T_1 и T_2. Между вставками помещается образец, по которому распространяется стационарный поток теплоты $q_{обр}$. Одномерность величины $q_{обр}$ обеспечивается наружной теплоизоляцией. К верхней вставке стационарно крепится два полупроводниковых датчика температуры (BAV-99) на расстоянии 10 мм друг от друга. Датчики измеряют градиент температуры верхней вставки. Выходы датчиков подключены к дифференциальным усилителям с K_U =100 (м/сх TL074CP). Сигналы с выхода усилителей направляется на двухканальный (АЦП) (12 бит, $U_{вх}$= ±10 В), где происходит их оцифровка и в дальнейшем они поступают на слот “ISA” (ПК). Для верхней вставки с известным коэффициентом теплопроводности λ, рассчитывается плотность теплового потока, идущего по пути верхняя вставка – образец – нижняя вставка.

$$q_1 = -\lambda \frac{dT_1}{dx} = -\lambda c_1 dU_1, \qquad (1)$$

где dU_1– сигнал на выходе верхнего усилителя, пропорциональный градиенту температуры: c_1 – коэффициент пропорциональности между сигналом на выходе усилителя и градиентом температуры.

Плотность теплового потока через образец $q_{обр}$ пропорциональна плотности теплового потока вставки q_1 с коэффициентом пропорциональности c_x. Соответственно, имеем для образца:

$$q_{îáð} = c_x q_1 = -\lambda_{îáð} \frac{dT_2}{dx} = -\lambda_{îáð} c_2 dU_2 , \quad (2)$$

где dU_2 – сигнал на выходе нижнего усилителя, пропорциональный градиенту температуры образца, c_2 – коэффициент пропорциональности между сигналом на выходе усилителя и градиентом температуры, $\lambda_{обр}$ – коэффициент теплопроводности образца.

Коэффициент теплопроводности образца определяется:

$$\lambda_{обр} = q \frac{dT}{dx} = C\lambda dU_1 / dU_2 , \quad (3)$$

где $C = c_x c_1 / c_2$ – приборный коэффициент – величина, характеризующая чувствительность измерения температуры, учитывающая геометрию расположения датчиков температуры. Величина c определяется из дополнительных измерений, когда вместо образца, ставится эталон с известной теплопроводностью, например λ_1. Тогда:

$$c_x c_1 \lambda_1 dU_{1_0} = c_2 \lambda_1 dU_{2_0} , \; C = \frac{dU_{2_0}}{dU_{1_0}} . \quad (4)$$

При обеспечении постоянства ∇T установка позволяет осуществлять измерения температурной зависимости $\lambda(T)$ в интервале 360–900 К.

Проведен анализ сравнительного метода измерения теплопроводности с созданием в образце стационарного одномерного теплового потока.

Разработана лабораторная установка с использованием этого метода с заданием режимов работы и регистрацией данных на компьютере. Измерено тепловое сопротивление керамических защитных слоев двух разных составов, отличающихся друг от друга по химическому составу. Эталонная керамика имеет тепловое сопротивление в полтора раза выше, чем защитный слой из керамики с модифицированным химическим составом.

Показана возможность измерения теплопроводности керамических покрытий в лабораторных условиях.

Литература

1. Барабаш М.Ю. Измерение теплопроводности теплозащитных покрытий / М.Ю. Барабаш, Э.Л Мартынчук., Л.Ю. Куницкая, И.В. Белоусов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. –2008. – № 5, Т 74. – С. 35–39.

Барандич Е.С., Выслоух С.П. НТУ Украины
«Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЦИКЛИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

В данной работе рассматриваются вопросы технологического обеспечения необходимой циклической долговечности материала деталей, работающих в условиях циклических нагрузок. Для этого выполнен анализ влияния качества поверхностного слоя деталей, работающих под действием циклических нагрузок, на их усталостные характеристики [1].

Обзор методов определения циклической долговечности показал ограниченность сведений о математических зависимостях между циклической долговечностью материала детали и технологическими условиями обработки. Поэтому проведены усталостные экспериментальные исследования, по результатам которых создана математическая модель циклической долговечности материала детали от режимов токарной обработки и напряжения цикла [2]. Разработана математическая модель процесса токарной обработки деталей, работающих в условиях циклически переменных нагрузок.

Для решения задачи определения рациональных режимов обработки, которая является многомерной нелинейной задачей математического программирования, применен метод скользящего допуска [3].

Разработана программа оптимизации, интерфейс которой позволяет ввести необходимые исходные данные о заготовке и параметрах детали, режущем инструменте, используемом оборудовании, а также условия эксплуатации детали и необходимой ее циклической долговечности.

Использование разработанной математической модели и методики оптимизации позволило определить для детали «Вал», которая работает под действием циклических нагрузок $\sigma = 400$ МПа, рациональные режимы токарной обработки – $S = 0{,}138$ мм/об, $V = 187{,}6$ мм/мин; $h = 0{,}1$ мм, обеспечивающие необходимую циклическую долговечность (не менее $N = 16 \cdot 10^4$ циклов) при ее эксплуатации и максимальную производительность изготовления.

Литература

1. Вислоух С.П. Вплив параметрів шорсткості оброблених поверхонь на характеристики опору втоми деталей / С.П. Вислоух, К.С. Ба-

рандич, О.І. Паткевич // Вісник Черкаського держ. технологіч. ун-ту. Серія: Технічні науки. – 2015. – №. 1. – С. 116–121.

2. Barandych C. Lathe Turning Mode Optimisation for Parts Working under Conditions of Cyclic Loading / C. Barandych et al. // Ukr. J. of Mech. Eng. and Mat. Sci. – 2016. – №. 2, 2. – С. 53–60.

3. Барандич Е.С. Технологическое обеспечение максимальной циклической долговечности и производительности токарной обработки деталей / Е.С. Барандич и др. // Моделирование в технике и экономике. – 2016. – С. 35–37.

Бородавко В.И., Пынькин А.М., Воробьев В.В., Хейфец М.Л., Семененко Д.В., Грецкий Н.Л., Антончик К.А. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАСТОМИЗИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Повышению эффективности производственной деятельности служит создание комплексов технологических, транспортных, энергетических и информационных машин на основе новых аддитивных технологий, нанотехнологий и повышения производительности уже используемых.

В настоящее время зарождается новая эпоха производства – массовая *кастомизация,* характеризующаяся тем, что потребитель выступает в качестве дизайнера и инженера. Теперь по запросам потребителя можно непосредственно контролировать и управлять, а также изменять производственный процесс.

В результате при системном анализе роста эффективности технологических комплексов необходимо рассчитывать не только удельную технологическую трудоемкость (себестоимость), приходящуюся на одно изделие, но и затраты по всему жизненному циклу изделия, особенно связанные с его кастомизированным маркетингом, проектированием, эксплуатацией, утилизацией и сокращением всевозможных логистических поставок.

Производство и адресная поставка кастомизированного изделия, с учетом внешней и внутренней логистики предприятия (в том

числе и виртуального), можно дополнить проходящие этапы прогнозом на будущее, которое часто связывается с новой парадигмой *интеллектуального* производства, называемой *«Индустрия 4.0»*. Данный термин предложен немецкими компаниями на Ганноверской выставке технологий в 2011 г. для обозначения начала «эпохи четвертой индустриальной революции», связанной с промышленным интернетом вещей *(IIoT – Industrial Internet of Things)*.

Разработка технологических комплексов начинается с анализа принципиальной схемы мехатронной системы, имеющей два контура управления, посредством прямой связи с внешней средой и обратной связи по результатам диагностики состояния объекта управления.

Выбор потоков энергии и материалов для послойного синтеза изделия осуществляется в зависимости от свойств материалов или их композиций, геометрических характеристик поверхностей, их точности. При этом особое внимание уделяется фокусировке или распределению потоков в пространстве и во времени.

Мехатронный технологический комплекс реализует прямую связь при управлении потоком энергии или материала послойно синтезирующего изделие, а обратную связь по состоянию формируемого слоя или обрабатываемой поверхности сформированного изделия (рис. 1).

Выбор источников для раскройного оборудования определяется как толщиной и материалом листовых заготовок, так и точностью обработки. Рассматривается граф кортежей различных видов обработки проектируемого технологического оборудования и анализируются налагаемые связи: механические и электрические (привода и источники), электронные и программные (средства контроля и управления) в мехатронной системе. В результате привод источника реализован в качестве многокоординатного манипулятора, а сам комплекс и его средства оснащения представляют собой мехатронную технологическую систему (рис. 2).

Аналогично проектировалось раскройное гидроабразивное оборудование, обладающее широкими технологическими возможностями. Также проектировалась экструдерная система для полимерной печати, в которой температура процесса управляется в зависимости от применяемого материала и его армирующих наполнителей.

Таким образом, анализ современного состояния и перспектив развития аддитивных технологий компьютеризированного производства позволяет говорить о новой парадигме в его эволюции – «Индустрии 4.0».

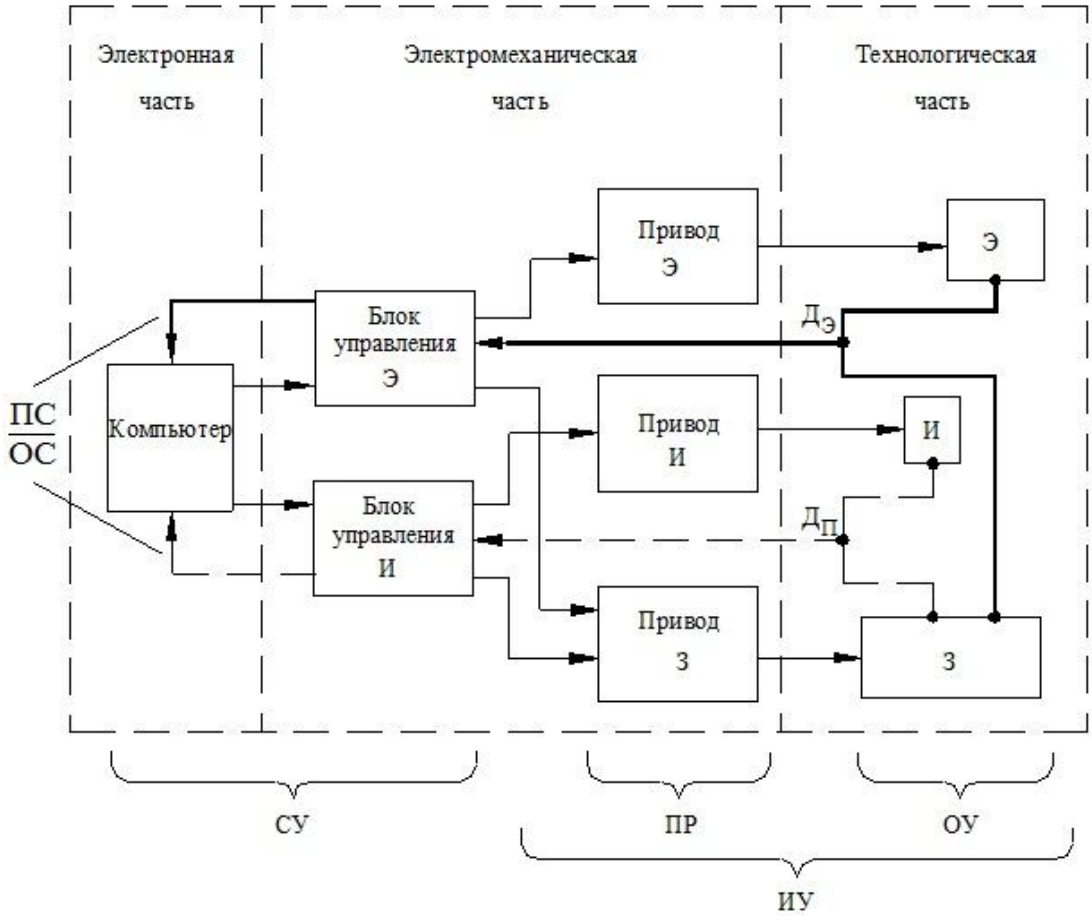


Рисунок 1 – Структурная схема мехатронной системы:
З – заготовка; И – инструмент; Э – концентрированный источник энергии; $Д_П$ – датчик перемещений; $Д_Э$ – датчик интенсивности потока энергии; СУ – система управления; ПР – приводы; ОУ – объект управления; ИУ – исполнительные устройства; ПС – прямая связь; ОС – обратная связь

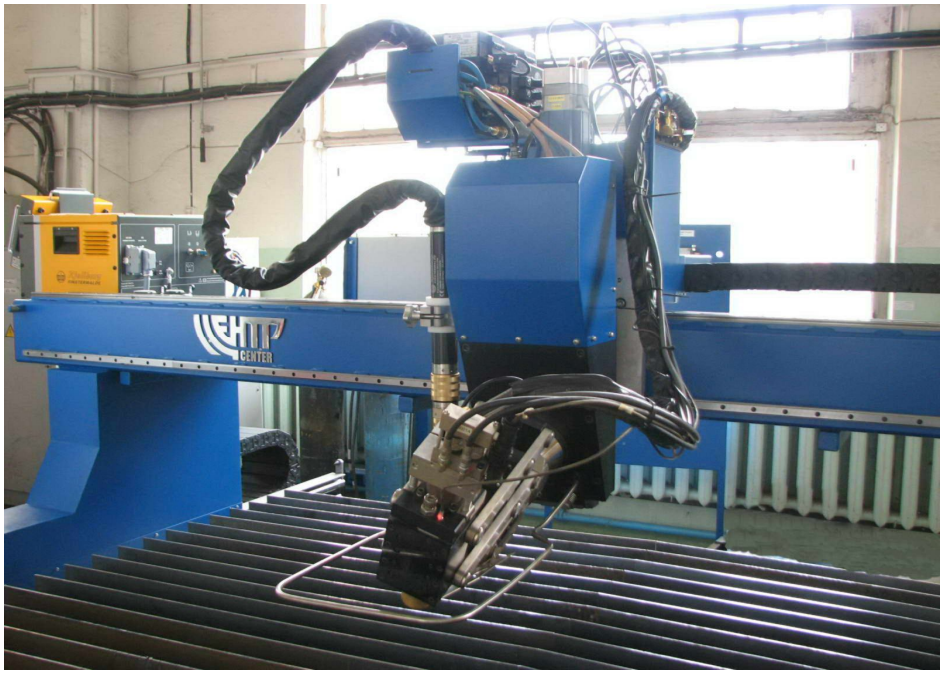


Рисунок 2 – Технологический комплекс плазменного раскроя материала с манипулятором для резки и разделки кромок под углом

В результате формируется и детализируется концепция «цифровой фабрики», в которой аддитивные и нанотехнологии являются определяющим звеном системы, включающим развитые подсистемы: 3D-проектирования и управления производством и потреблением, начиная от моделирования изделия, его материалов и компонентов в соответствии с новыми технологическими возможностями и заканчивая получением и эксплуатацией функционально ориентированного кастомизированного изделия.

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

СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ

Под сорными растениями понимают самостоятельную экологическую группу растений, произрастающих в посевах сельскохозяйственных культур и приносящих им вред.

Наибольший ущерб причиняют дикие собственносорные растения. Они очень выносливы и плодовиты. Такая особенность у них выработалась в результате многовекового отбора и приспособления к внешним условиям существования. Вред, причиняемый сорняками, огромен. Они иссушают почву, так как потребляют больше влаги, чем культурные растения. Так, сорняк овсюг при сильном распространении потребляет воды в полтора раза больше, чем пшеница. Вместе с водой сорняки берут из почвы питательные вещества.

Количество потребляемых ими питательных веществ превосходит потребление их культурными растениями. Есть сорняки-паразиты, которые питаются соками культурных растений, присасываясь особыми приспособлениями к тканям стеблей или корней, например повилика, заразиха.

Многие сорняки, развивая мощную надземную зеленую массу, затеняют культурные растения и тем самым ухудшают усвоение ими углекислоты и снижают урожай (гумай, камыш, солодка и др.) вследствие затенения сорняками почвы сокращается поступление тепла к культурным растениям, что так же ведет к их ослаблению. Сорные растения затрудняют вспашку, междурядную обработку и уборку урожая.

Сорняки являются распространителями вредителей и болезней сельскохозяйственных культур. Паутинный клещик, тля, озимая совка, карадрина первоначально развиваются на сорняках (вьюнке, лебеде, мальве), а затем переходят на культурные растения. Сорняки снижают качество продукции. В пшенице уменьшается содержание белка, а в масличных культурах - жира. Примесь семян сорняков к зерну пшеницы портит качество его продукта питания. Так, семена горчака делают муку пшеницы непригодной к употреблению, а примесь ядовитых семян триходесмы седой и куколя вызывает отравление людей и животных.

Многие сорные растения, поедаемые животными, ухудшают качество молочной продукции. Например, чеснок и полынь придают неприятный запах молоку. От сена горчака и побегов молодого гумая животные заболевают. Семена, имеющие острые колючки и волоски (овсюг и др.) вызывают болезни слизистых оболочек желудка у животных. Плоды репейника, дурнишника и другие, попадая в хлопок и шерсть овец, снижают их качество.

Затраты ручного труда на удаление сорняков нередко составляют 40% от всех затрат на производство хлопка, при этом затраты труда на полку и мотыжение сорняков составляют 25 чел./дней на 1 га. Из-за высокой засоренности хлопковых полей отдельные хозяйства, по самым минимальным подсчетам, теряют не менее 20% урожая.

Биологические особенности сорняков. Сорные растения по биологическим особенностям подразделяют на малолетние (одно- и двухлетние, двудольные и однодольные) и многолетние (двудольные и однодольные). На полях хлопково-люцернового севооборота наиболее часто встречаются 74 вида сорняков из 27 семейств. Более трети из них малолетние: ширица – Amaranthus retroflexus L., лебеда – Chenopodium album L., паслен черный – Solanum nigrum L., портулак огородный – Portulaca oberacea L., гибискус тройчатый – Hibiscus trionum L., щетинник сизый – Setariaglauca P. B., куриное просо – Echinochloa crusgalli L. и другие, которые завершают процесс развития в течение одного года, двухлетние – в течение двух лет. У однолетних сорняков неглубокая корневая система, и размножаются они преимущественно семенами (исключение составляют повилики). Малолетние сорняки характеризуются высокой плодоносностью: одно растение куриного проса дает до 6000 семян, щетинника сизого – 7000, пастушьей сумки – 73000, повилики полевой – 140000, щирицы – 500000 семян. Семена и плоды многих сорняков очень мелки и легки или имеют различные придатки в ви-

де волосков, хохолков, благодаря чему переносятся на большие расстояния с помощью воды и ветра.

Двухлетники в первый год развиваются до фазы розетки, перезимовывают и лишь на следующий год плодоносят и отмирают.

Многолетние сорняки отличаются тем, что плодоносят в течение жизни много раз. Размножаются они не только семенами, но и вегетативным способом при помощи корневых отпрысков, корневищ и клубней. У корнеотпрысковых растений корневая система глубоко уходит в почву, развивающиеся на корнях почки способны давать поросль, К корнеотпрысковым сорнякам, встречающимся на хлопковых полях, относятся; верблюжья колючка – Alhagi pseudalhagi (M.B.) и Alhagi spazsifolia Shap., вьюнок полевой – Convolvulus arvensis L., осот полевой – Sonehus arvensis L, Они размножаются в основном вегетативно. У этих растений на местах срезов корня плутом или другими орудиями образуются побеги, дающие начало новым растениям. Часто в месте срезов одного сорняка образуется 4–8 побегов.

Особенно трудно искореняемым растением на хлопковых полях считается вьюнок полевой. Помимо вегетативного размножения вьюнок размножается и семенами. Почти все корни ранних всходов успевают к осени заложить почки, из которых на будущий год могут развиться новые растения. Основная масса побегов вьюнка размножается на глубине 10–25 см.

Среди корневищных сорняков на хлопковых полях часто и почти повсеместно встречается хвощ полевой – Eguisetum arvense L., который размножается спорами и вегетативно. Горизонтальные и идущие от их узлов к поверхности вертикальные корневища залегают в несколько ярусов, но основная их масса сосредоточенна в пахотном слое. Свинорой пальчатый – Cynadon dactylon L. сильно засоряет посевы, особенно корневища. Корневая система свинороя представляет массу питающих корней, проникающих глубоко в почву и пронизывающих во всех направлениях пахотный слой подземными корневищами с многочисленными узлами.

К сорнякам-паразитам, встречающимся на культурных полях, относятся повилики (полевая, люцерновая) – Cuscuta can^pestris Tuncker, Cuscuta trifolii Bab, которые паразитируют на сорняках, люцерне и почти на всех культурных растениях. Размножаются семенами и вегетативно обрывками стеблей. Зрелые семена имеют растянутый период прорастания и могут находиться в состоянии покоя до пяти лет. Весной, особенно при влажной и теплой погоде,

множество проростков повилики появляется на открытых местах у обочин дорог, по берегам оросителей и на межниках.

Биологические группы сорных растений. Сорняки по продолжительности жизни, способу питания и размножения разделены на следующие группы:

- биологические группы: однолетние – яровые и озимые; двухлетние (рис. 1, 2);
- многолетние: стержневые, корнеотпрысковые, корневищные;
- сорняки-паразиты.

Рисунок 1 – Однолетние сорняки

Рисунок 2 – Яровые сорняки

Размножаются только семенами. Прорастают они весной в разное время: одни – рано при невысокой температуре и дают зрелые семена до уборки или одновременно с уборкой сельскохозяйственных культур (овсюг полевой) другие, когда почва хорошо прогреется. Они называются поздними яровыми сорняками. Основные меры борьбы с этой группой сорняков – своевременная междурядная обработка

Овсюг (Еввои сули) внешне похож на овес. Засоряет яровые хлебные злаки, размножается исключительно семенами, Семена его в зависимости от положения в метелке имеют разную крупность, окраску и всхожесть, в связи с чем, увеличивается растянутость их-прорастания, В год созревания семена плохо прорастают, а после перезимовки, при неглубоком залегании в почве, появляются дружные всходы, которые легко уничтожаются культивацией.

Литература

1. www.icwc-aral.u

Брусило Ю.В. Национальный
авиационный университет, Киев,
Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Гонець Р.А.
Ценральноукраинский национальный технический
университет, Кропивницкий, Украина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Большинство деталей двигателей эксплуатируются до предельно допустимого износа. В Украине, в условиях сложившейся экономической ситуации немаловажным фактором является перерасход дорогостоящих запасных частей, в том числе импортного производства, из легированного металла для замены изношенных деталей. Анализ износа деталей двигателей показал, что в первую очередь существует потребность в восстановлении поверхностей наиболее востребованных и часто выходящих из строя деталей, таких как распределительные валы. Восстановление распредвалов сдерживается ограниченным применением современных способов восстановления ответственных деталей двигателей. Использование традиционных методов восстановления деталей (наплавки или плазменного напыления) не удовлетворяет запросам ремонтных производств (не обеспечивают необходимое качества деталей, трудоемки, энергоемки и экономически нецелесообразны). Поэтому, разботка и внедрение малозатратных технологических процессов восстановления и упрочнения распредвалов двигателей, изыскание новых и усовершенствование существующих методов их ремонта и восстановления, которые базируются на последних научных исследованиях в области нанесения защитных покрытий, является актуальной задачей. Решение этой задачи обеспечит снижение расхода дорогостоящих материалов и энергозатрат процесса восстановления при повышении его производительности с гарантией высоких показателей надежности отремонтированных изделий.

Одним из основных направлений повышения долговечности и ресурса двигателей является усовершенствование низкостоимостных технологических процессов восстановления их распредвалов в сочетании с использованием наиболее доступных и дешевых материалов, обеспечивающих снижение расхода дорогостоящих материалов и энергозатрат процесса восстановления при повышении его

производительности с гарантией высоких показателей надежности отремонтированных изделий. Использование восстановленных деталей позволяет снизить расходы автопредприятий на запасные части. Разнообразие действующих сил и условий эксплуатации распредвалов определяет большой разброс в значениях износа их рабочих поверхностей, на ремонт которых приходится 60% существующих разработанных технологических процессов восстановления, среди которых все большее внимание уделяется электродуговому напылению (ЭДН). Технологичность, простота, высокая производительность, низкая стоимость и универсальность ЭДН обратили на себя внимание учёных и производственников. Огромный вклад в развитие ЭДН внесли исследования ученых Украины и стран СНГ: К.А. Ющенко, В.С. Ивашко, В.Э. Барановского, А.С. Прядко, Ю.С. Коробова, М.М. Студента и др. Использование технологических процессов ремонта с применением прогрессивных технологий и оборудования для ЭДН поможет сделать ремонтное производство двигателей транспортных предприятий рентабельным, обеспечит его сменно-запасными деталями. Ремонт составляет основу эксплуатационной надежности и включает не только восстановление геометрических размеров распредвалов двигателей, но и повышение их эксплуатационных характеристик, в том числе – износостойкости. Таким образом, повышение износостойкости, долговечности и надежности распредвалов двигателей является конечной целью разработки технологических процессов восстановления и ремонта.

Целью настоящих исследований является разработка технологии восстановления распределительных валов автомобильных двигателей путем нанесения покрытий методом электродугового напыления и исследование свойств полученных покрытий.

В качестве объектов исследования были выбраны распределительные валы с ЭДН – покрытия из проволочной стали 40Х13. Диаметр проволоки ∅ 2,0 мм. Выбор сталей мартенситного класса 40Х13 для износостойких покрытий обусловлен их способностью к структурно-фазовым аустенитно-мартенситным превращениям. Для нанесения покрытий использовали электродуговой аппарат АДН-8 для активированной электродугового напыления (АДН), разработанный в ГНУ «ОИМ НАН Беларуси». В основе работы установки лежит процесс плавления проволок электрической дугой и распыление металла высокоскоростной струей продуктов сгорания

пропано-воздушной смеси. Достоинство используемой аппаратуры - работа камеры сгорания на пропано-воздушной смеси, что снижает окисление напыляемого металла и выгорание легирующих элементов. Напыленное покрытие характеризуется прочностью сцепления вдвое выше, чем при традиционном ЭДН, что позволяет деталям с такими покрытиями работать в экстремальных условиях. Исследование микроструктуры проводилось на световом микроскопе «MeF-3» фирмы "Reichert" (Австрия). Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере "Micromet-II". Количественный стереологический анализ пористости покрытий проводился на автоматическом анализаторе изображения «Mini-Magiscan» фирмы "Joyce Loebl", Англия, по программе «Genias 26»..

В результате исследований разработан технологический процесс восстановления распредвалов ЭДН, который состоит из следующих операций: подготовка проволоки; очистка детали; дефектация детали; предварительная мехобработка; дробеструйная обработка; контроль напыленных поверхностей; мехобработка покрытий. При разработке технологии восстановления распредвалов двигателей принималось во внимание конструкция вала, свойства материалов вала и покрытия, размеры покрытия, допустимый нагрев и т.д. Сущность процесса ЭДН заключается в плавлении проволоки электрической дугой и распылении расплавленного металла струей, образованной продуктами сгорания пропано-воздушной смеси, с дальнейшим транспортированием потока частиц расплавленного металла к восстанавливаемой поверхности вала (рис. 1).

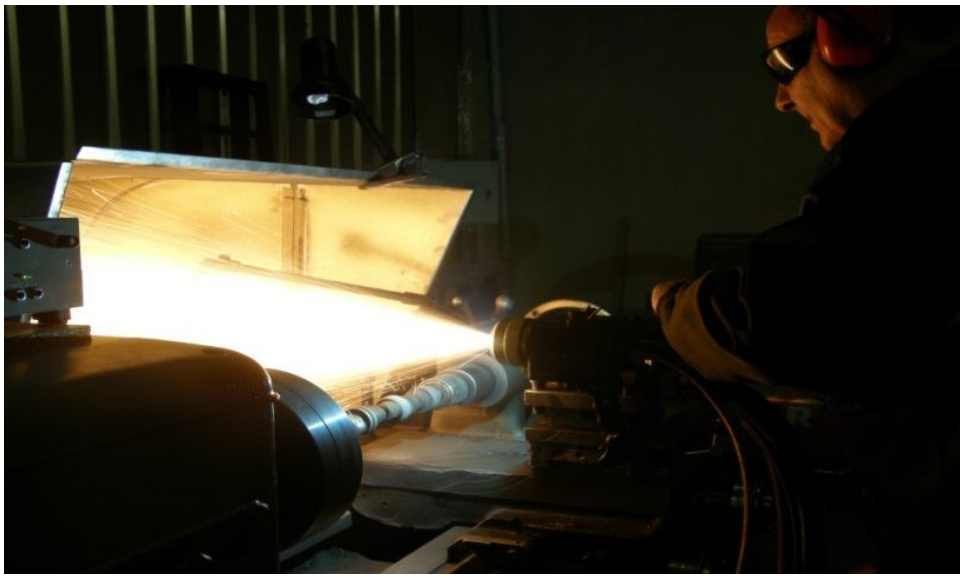


Рисунок 1 – Процесс восстановления распредвала электродуговым напылением

Основные физико-механические свойства полученных покрытий, представлены в табл. 1 и на рис. 2–3. Лабораторные и стендовые испытания распредвалов показали, что износостойкость их восстановленных поверхностей в 2,5–5,0 раза выше, чем поверхностей, восстановленных по традиционной технологии ЭДН и в 1,5–1,7 раза – по сравнению с новыми валами (табл. 2–3). Срок службы распредвалов с покрытиями (рис. 4) увеличился в 2,5–3,0 раза.

Таблица 1 – Характеристики стальных покрытий ЭДН

Наименование характеристики, размерность	Значение
Микротвердость, МПа	*HV* 800
Контактные нагрузки, МПа	до 100 при наличии ударов
Степень окисления покрытия, %	до 3
Прочность сцепления, МПа	60–70
Толщина покрытия, мм	0,5–4,0
Термическое разупрочнение	не происходит

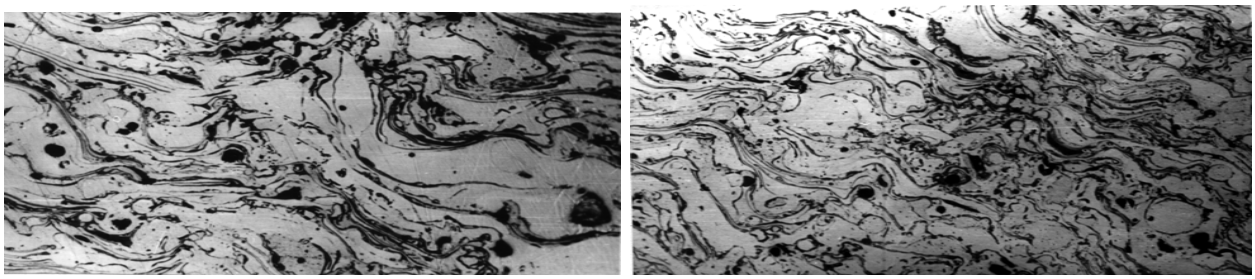
Рисунок 2 – Исследования микротвердости полученного покрытия

Таблица 2 – Физико-механические свойства восстановленных валов

Деталь	Материал	Прочность сцепления, МПа	Среднее значение износа, мм
Распредвал новый	сталь 45	–	0,05–0,15
Распредвал восстановленный		220	0,01–0,02

Пористость ЭДН-покрытий		
Класс	Описа-ние	% пло-щади
1	Поры	6.29%
2	Основа	93.71%

а



б *в*

Рисунок 3 – Гистограммы пористости (*а*) и микроструктура ЭДН-покрытий (*б*, *в*) ×250

а *б*

Рисунок 4 – Восстановленный (*а*) распредвал 14-04-20-1 двигателя Д-160.111-1 и после мехобработки (*б*)

Выводы. На основании исследований разработаны технологическая инструкция для восстановления распредвала и практические рекомендации по использованию разработанной технологии восстановления на ремонтных предприятиях. Разработанная технология восстановления распредвалов двигателей расширила номенклатуру восстанавливаемых деталей и позволила восстанавливать не только распредвалы двигателей, но и распредвалы любых средств транспорта, а также организовать участки восстановления деталей на ремонтных предприятиях.

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

СБОРНЫЕ ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ С РИФЛЕНЫМИ ВСТАВКАМИ ИЗ ПСТМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учитывая, специфические структуру и свойства труднообрабатываемых материалов, а также особенности макрогеометрии деталей, особое место при проектировании лезвийного инструмента приобретают его конструктивные мероприятия по креплению режущих пластин из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ). Если конструкция инструмента с механическим креплением пластин технически неосуществима, то применяют паяный инструмент из ПСТМ, оснащенный сменными вставками или блоками. Наличие подложки позволяет повысить прочность режущих элементов, уменьшить толщину слоя ПСТМ, осуществлять пайку пластины непосредственно к вставке или блоку.

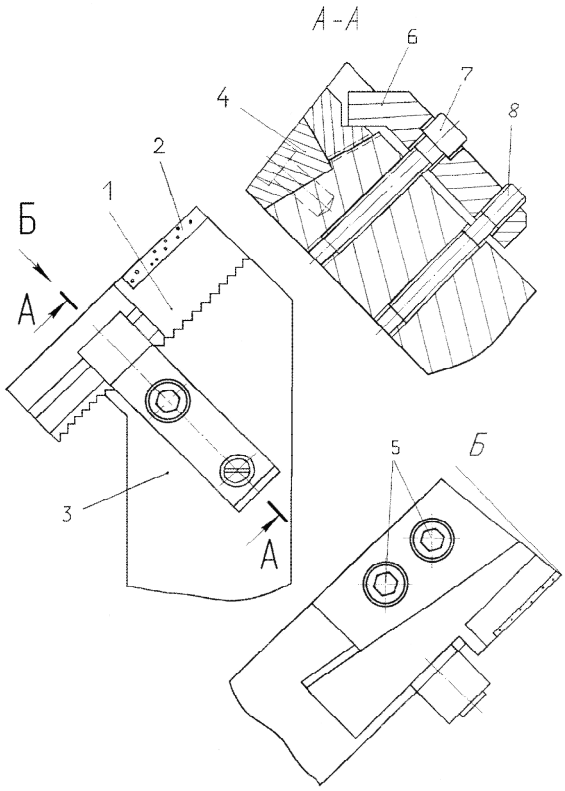


Рисунок 1 – Сборный проходной резец с разрезом А-А и видом Б:
1 – блок; 2 – режущая пластина; 3 – державка; 4 – опорная пластина; 5 – винт; 6 – прихват; 7 – крепежный винт; 8 – дифференциальный винт

Максимально возможное использование материала режущей пластины, постоянство положения вершины резца на линии центров токарного станка и высокая надежность крепления режущей пластины в инструменте при точении деталей из труднообрабатываемых материалов достигается с применением технологичной сборной конструкции резца (рис. 1).

Сборная конструкция инструмента [1] спроектирована с выдвижным режущим блоком в виде прямого параллелепипеда, не только для повышения надежности крепления, периода стойкости и ресурса режущей пластины из ПСТМ, но и для применения многократной переточки токарного рез-

ца. Он состоит из блока 1 с напаянной режущей поликристаллической пластиной 2, закрепленного в державке 3, опоры 4 закрепленной двумя винтами 5 и прихвата 6 с крепежным 7 и дифференциальным 8 винтами.

Режущий блок изготовлен с рифлями на боковой опорной стороне, для сопряжения с соответствующими рифлями на главной задней поверхности державки и опорой под углом подъема к основной плоскости инструментальной системы координат, закрепленной винтами к державке. Шаг рифли P и угол подъема τ конструкции резца подбираются по отношению $P = h/\mathrm{tg}\tau$, где h – допустимая величина фаски износа режущей пластины по задней поверхности.

В поперечном сечении режущий блок представляет собой четырехгранник с двумя опорными плоскостями под углами в поперечном и продольном направлениях к основной плоскости и рифленой в направлении к основной плоскости под прямым углом. Третья задняя поверхность блока под углом к плоскости резки содержит напаянную режущую пластину в вертикальном по ширине и горизонтальном по длине положении. Четвертая сторона после передней поверхности с режущей пластиной имеет уступ с прямым желобом под углом 45° к основной плоскости для сопряжения с прихватом. Прихват имеет Г-образную нажимную часть под сопряжения с желобом режущего блока, ступенчатое отверстие под крепежный винт и резьбовое отверстие под дифференциальный винт.

Режущий блок с напаянной режущей пластиной вставляется на опору, закрепленную двумя винтами до уступа державки с соответствующими углами для того, чтобы контактные и рифленые поверхности режущего блока и державки совпали. После чего четвертая сторона совмещается с крепежным прихватом, дифференциальным винтом регулируют высоту прихвата и затягивают крепежным винтом. Сущность разработки определяется возможностью перестановки режущего блока после заточки с подъемом режущей кромки к основной плоскости за счет специальной опоры и рифленого сопряжения с державкой. Заточка режущего блока выполняется по передней и вспомогательной задней поверхностям алмазным кругом. Регулирования прихвата по высоте подъема режущего блока осуществляется с помощью дифференциального винта. В процессе работы резца жесткость крепления режущего блока усиливается действием составляющих силы резания. Высокая жесткость инструмента при точении труднообрабатываемых материалов способствует повышению его виброустойчивости, и, как следствие, ка-

чества обработанной поверхности изделий и уменьшению поломок режущих пластин. За счет возможности многократной переточки режущей пластины повышается ресурс инструмента.

Проходной резец, оснащенный блоком с пластинами из ПСТМ при точении автомобильных деталей, восстановленных напылением покрытиями твердостью HRC 50–60 из порошков ПГ-10-01, ПГСР-3, ПГСР-4 и проволоки Нп-65Г с последующим их оплавлением, стабильно обеспечивает заданную точность, шероховатость и не снижает твердость обработанной поверхности. Так, при обработке штоков подвески за счет повышения скорости резания до 1,6–2,0 м/с инструмента с технологической заточкой производительность возросла в 2–3 раза при стойкости режущей кромки 90–120 мин. Проверка разработанного инструмента показала надежное закрепление режущей пластины и хорошую работоспособность в эксплуатации.

Путем технологического упрощения выполнения сопряжения вставки с державкой и конструктивного исключения промежуточных элементов (сборочных единиц) усовершенствована конструкция проходного резца с рифлеными поверхностями вставки [2], что повысило жесткость крепления вставки и ресурс инструмента из ПСТМ. У проходного резца контактные поверхности вставки с продольным глухим пазом под винт имеют соответствующие рифленые сопряжения в продольном направлении с державкой и поперечном направлении с прихватом Г-образной формы, причем державка выполнена с поперечным открытым пазом под сопряжения с опорой прихвата.

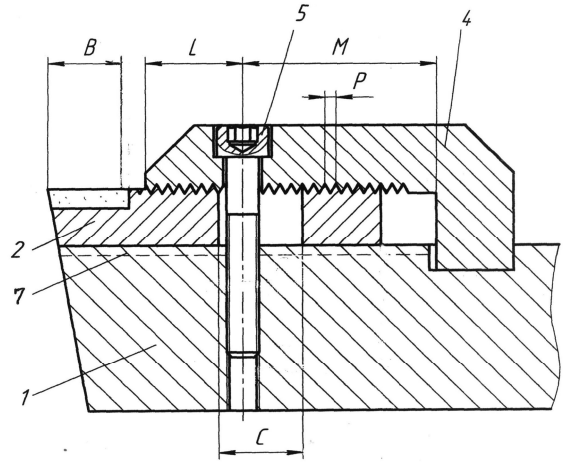


Рисунок 2 – Резец с рифлеными поверхностями вставки: 1 – державка; 2 – вставка; 3 – режущая пластина; 4 – прихват; 5 – винт

На рис. 2 изображен резец с рифлеными поверхностями вставки, который состоит из державки 1, вставки 2 с напаянной режущей пластиной 3 из ПСТМ, прихвата 4 и винта 5 для крепления вставки. Державка имеет поперечный паз для упора, прихват и резьбовое отверстие под винт. Для взаимодействия со вставкой в начале державки выполнены продольные рифли. Вставка с продольными рифлями на опорной поверхности со стороны державки и поперечными рифлями со стороны прихвата имеет паз для прохода винта. Прихват Г-образной формы имеет соответствующее отверстие под винт.

Длина *C* паза должна превышать рабочую длину B стачивания режущей пластины. Для увеличения усилия прижима вставки плечи относительно расположения крепежного отверстия прихвата выполняются с отношением *L*:*M* = 1:2. Для обеспечения достаточной прочности продольных и поперечных рифленых сопряжений шаг рифлей P должен приниматься больше 0,5 мм; рифленые поверхности державки и прихвата должны пройти поверхностную гартовку. Для надежности крепления вставки винт должен иметь как можно больший диаметр (не менее M5) и высокую прочность (объемная закалка прочной стали). При регулировании выдвижения вставки сначала раскручивается винт и снимается прихват. В свободном положении вставки после переточки располагается симметрично, на рифленые поверхности державки с выдвижением через поперечные рифли до нужного вылета над державкой. Затем вставка закрепляется прихватом с соблюдением совпадения сопряженных поперечных рифлей и окончательно крепится винтом.

Благодаря рифленым сопряжениям вставки с державкой и прихватом, резец обладает возможностью регулируемого выдвижения вставки после многократной переточки режущей пластины. Надежность ее крепления способствует повышению ресурса инструмента из ПСТМ. Конструкция узла крепления вставки пригодна для проектирования проходных, отрезных и резьбовых видов резцов при снятии больших припусков (до 5 мм на 1 проход).

Дальнейшее повышение эффективности использования потенциально высоких режущих свойств токарных резов из ПСТМ и определение новых областей их применения возможно лишь на основе всестороннего исследования конструктивных особенностей инструмента, которые базируются на новейших представлениях о закономерностях процесса резания.

Литература

1. Патент на корисну модель № 95948. Прохідний збірний різець / Ю.Г. Кравченко, Ю.О. Мельнійчук, В.В. Бурикін; Заявка № u201408634 від 30.07.2014; Опуб.12.01.2015 // Промислова власність. – 2015.– Бюл. № 1.

2. Патент на корисну модель № 114548. Резец с рифлеными поверхностями вставки / Ю.Г. Кравченко, Ю.О. Мельнійчук, В.В. Бурикін; Заявка № u201609747 від 22.09.2016; Опуб.10.03.2017 // Промислова власність. – 2017.– Бюл. № 3.

Витязь П.А., Сенють В.Т. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь,
Колмаков А.Г., Насакина Е.О. Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН, Москва, Россия

СТРУКТУРА ТЕРМОБАРИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОГО АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОСТРУКТУРНЫМ НИТРИДОМ БОРА

Использование модификаторов на основе добавок микро- и наноструктурных частиц позволяет эффективно изменять структуру алюмоматричных композиционных материалов (АКМ), способствуя тем самым повышению их механических и триботехнических характеристик [1].

В [2–4] показано, что применение поверхностно-модифицированных наноструктурных порошков алмаза, микропорошков шунгитового углерода, корунда с последующей обработкой в условиях высоких давлений и температур существенно повышают физико-механические и эксплуатационные характеристики композитов различного назначения, включая АКМ. Оптимальные структурные характеристики и прочностные показатели образцов АКМ обеспечивает присутствие в их составе адгезионно-активных модификаторов в сочетании с термобарической обработкой материала [3, 4].

Добавки нанопорошков кубического нитрида бора (cBN), обладающих высокой энергией направленных химических связей, и как следствие высокой твердостью, химической стойкостью в агрессивных средах, низким коэффициентом термического расширения [5] должны способствовать повышению физико-механических и эксплуатационных свойств разрабатываемых материалов.

Цель настоящей работы – изучение совместного влияния добавок наноструктурного кубического BN, давления и температуры на структуру и механические характеристики (микротвердость) алюмоматричного композиционного материала Al–BN.

Исходные материалы, оборудование, методики проведения экспериментов. В качестве основы сплава исходных материалов использовали алюминиевую пудру (толщина лепестков пудры со-

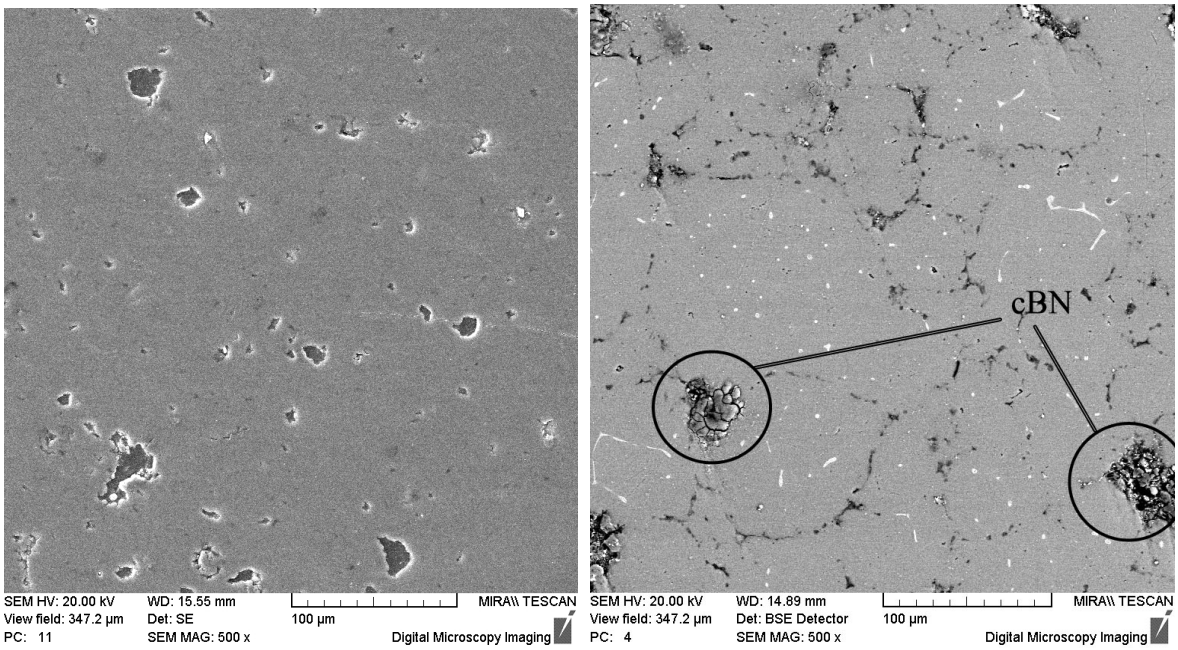
ставляет 0,2–0,5 мкм, а средний линейный размер – до 30 мкм). В качестве наполнителя применяли наноструктурный порошок кубического BN с размером первичных частиц в пределах 50–200 нм, которые в свою очередь образуют агрегаты до 0,5–2 мкм Порошки были получены на основе механоактивированного микропорошка гексагонального BN и характеризуются высокой удельной поверхностью до 20–25 $м^2/г$ [6].

Для повышения химического сродства наноструктурного cBN к алюминиевой матрице было выполнено предварительное химико-термическое модифицирование наноструктурного cBN, заключавшееся в его высокотемпературной обработке (отжиге) в диапазоне температур 750–950 ^oC в среде алюмосодержаших соединений (галогенидов алюминия) [3, 4]. Термобарическую обработку полученной реакционной шихты в контейнерах осуществляли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» при давлении 2,5 ГПа в диапазоне температур 600–1100 ^oC в течение 30 с. Нагрев образцов осуществляли путем прямого пропускания электрического тока через шихту, находящуюся в условиях квазигидростатического сжатия под высоким давлением. На полученных компактных образцах были приготовлены шлифы, которые затем исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере «Micromet- II» алмазным индентором по шкале Виккерса с нагрузкой на индентор 50 г.

Наноструктурный порошок cBN после модифицирования алюминием (с алюминиевым покрытием) добавляли в количестве 1,5 и 5 мас.% в алюминиевую пудру, после чего проводили перемешивание в баночном смесителе до образования гранул. Далее из приготовленных шихт развешивали навески, которые засыпали в специальный прессованный контейнер из литографского камня для последующей термобарической обработки. После термобарической обработки были получены цилиндрические образцы АКМ, которые затем полировались по торцам.

В результате металлографических исследований АКМ, полученных с добавкой 1,5 мас.% cBN при температурах 650–800 ^oC было установлено, что их структура достаточно неоднородна: частицы BN собраны в конгломераты от 1 до 20–30 мкм, расположенные по границам зерен алюминия. Повышение концентрации BN до 5 мас.% приводит к увеличению в материале доли более мелких конгломератов частиц (1–5 мкм), уменьшению размеров крупных

включений до 10–20 мкм, при их равномерном распределении в алюминиевой матрице, рис. 1, *а*.



а *б*

Рисунок 1 – Структура АКМ, модифицированного добавкой 5 мас.% наноструктурного cBN после *p*, *T*-обработки: *а* – 700 °С; *б* – 1000 °С

С ростом температуры свыше 1000 °С в материале с различным содержанием cBN (1,5–5 мас.%) происходит рекристаллизация cBN в агрегатах с образованием частиц cBN размером 1–10 мкм, обладающих огранкой, характерной для микропорошков cBN, рис. 1, *б*.

Как показал металлографический анализ, размеры зерен алюминия в случае термообработки при 1000 °С практически не увеличиваются по сравнению с материалом, полученным при температурах 650–800 °С (10–30 мкм), что можно объяснить как влиянием высокого давления и малой длительности спекания, так и модифицирующим воздействием наполнителя на структуру композита.

Разработан процесс получения наноструктурного модификатора алюминиевых сплавов на основе cBN, заключающийся в химико-термической обработке cBN в восстановительной атмосфере в среде галогенидов алюминия при диапазоне температур 600–1100 °С. Получены образцы наноструктурных модификаторов cBN+Al, представляющие агрегаты из частиц cBN размером 50–200 нм с покрытием на основе алюминия.

Показано, что введение полученного модификатора в количестве 1,5 и 5 мас. % в алюминиевую матрицу стабилизирует рост зерен алюминия при термобарической обработке. При этом увеличе-

ние температуры обработки материала свыше 1000 ^{o}C приводит к рекристаллизации cBN и образованию отдельных частиц cBN размером 1–10 мкм.

Литература

1. Чернышова Т.А. О модифицировании литых алюмоматричных композиционных материалов тугоплавкими наноразмерными частицами / Т.А. Чернышова, Л.И. Кобелева, И.Е. Калашников // Металлы. – №1.– 2009.–С. 79–87.

2. Витязь П.А. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / П.А. Витязь, В.И. Жорник, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларус. навука, 2013. – 381 с.

3. Vityaz P.A. Formation of aluminum-schungite composite material under pressure / P.A.Vityaz, A.F.Ilyushchenko, V.T.Senyut et al. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2016. – V. 13, № 1(25). – P. 35–39.

4. Витязь П.А. Спекание в условиях высоких давлений алюмоматричных композитов, модифицированных шунгитовым углеродом и корундом / П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, В.Т. Сенють и др. // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 1.– С. 55–65.

5. Голубев А.С. Нитрид бора. Структура, свойства, получение / А.С Голубев., А.В. Курдюмов, А.Н. Пилянкевич. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.

6. Сенють В.Т. Исследование структурных особенностей нитрида бора после механоактивации в аттриторе и планетарной мельнице / В.Т. Сенють, С.А. Ковалева, Т.В. Гамзелева, Т.Ф. Григорьева // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24, № 2. – С. 169–175.

Исследования поддержаны грантом БРФФИ-РФФИ по проекту Т16Р-176

Витязь П.А., Чижик С.А., Хейфец М.Л.
Президиум НАН Беларуси, Отделение
физико-технических наук, Минск, Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Современные аддитивные технологии реализуют провозглашенную в 1959 г. Р. Фейнманом новую парадигму производства *«снизу-вверх»* взамен или в дополнение развивающейся веками парадигме *«сверху-вниз»*. Сущность аддитивного производства заключается в послойном синтезе или «выращивании» изделий по «цифровым моделям» без использования формообразующей оснастки. Создание формы изделия происходит путем добавления материала, в отличие от традиционных технологий, основанных на удалении «лишнего» материала.

Передовые технологии, помимо используемых новых аппаратных и программных средств, оборудования и оснащения, основываются на *послойном выращивании поверхностей* изделий и *самоорганизации структур* композиционного материала. Так, определяя фундамент наукоемких нанотехнологий, Ж.И. Алферов выделяет кроме зондовой микроскопии эпитаксиальный *рост пленок на поверхности* и процессы *самосборки гетероструктур* материала.

Аддитивные технологии обеспечивают новые возможности дизайнеру. Создавая легкие ажурные каркасы и несущие конструкции, можно усиливать только опорные и контактные поверхности. На поверхностях в свою очередь послойно формировать функциональные покрытия.

Различают две основные группы аддитивных методов. Методы «предварительного формирования слоя» материала по технологиям *BD* (*Bed Deposition*), подразумевающим *наличие определенной платформы,* на которой послойно «выращивается» материал и изделие. Методы «непосредственного осаждения слоя» материала на *сложнопрофильную поверхность* изделия по технологиям *DD* (*Direct Deposition*), которые имеют традиционно глубокие корни в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин.

В настоящее время методы аддитивного производства классифицируются по стандарту ISO/ASTM 52900-15:

1. *Vat Photopolymerization* – фотополимеризация в емкости;

2. *Material Jetting* – разбрызгивание материала или струйные технологии;

3. *Material Extrusion* – выдавливание материала;

4. *Powder Bed Fusion* – плавление материала в заранее сформированном слое;

5. *Binder Jetting* – разбрызгивание связующего вещества;

6. *Sheet Lamination* – соединение листовых материалов;

7. *Directed Energy Deposition* – прямой подвод энергии непосредственно в место построения.

Классификации по принципам получения изделий без формообразующей оснастки отвечают, согласно представленной последовательности (1–7), созданные уже более 30 лет назад «традиционные» методы, соответственно:

1. *Stereolithography Application (SLA)* – стереолитография;
2. *Solid Ground Curing (SGC)* – послойное уплотнение материала;
3. *Fused Deposition Modeling (FDM)* – послойное экструдирование расплава;
4. *Selective Laser Sintering (SLS)* – селективное лазерное спекание;
5. *Direct Shell Part Creation (DSPC)* – прямое создание литейных форм;
6. *Laminated Object Manufacturing (LOM)* – послойное ламинирование из листового материала*;*
7. Методы, использующие *концентрированные потоки энергии (КПЭ),*

и другие сегодня не столь распространенные в производстве.

На сегодняшний не часто используются установки для реализации старейшего метода стереолитографии (1), а широкое применение, в том числе, и в быту, нашли экструзионные установки (3). Применимы, чаще всего в масштабном производстве, дорогостоящие установки селективного лазерного спекания (4) разнообразных порошковых материалов.

Послойное ламинирование (6), с малыми затратами может быть реализовано при использовании недорогого раскройного оборудования для различных листовых материалов. Актуальны также аддитивные технологии, использующие концентрированные потоки энергии (7), в основном – лазерные технологии. Особой перспективой среди этих технологий обладают ионные и электронно-лучевые методы обработки, реализуемые в вакууме.

Технологии прямого создания литейных форм (5), в том числе и при использовании послойного уплотнения материала (2), ис-

пользующие вяжущие, быстротвердеющие вещества (строительные материалы), пока не нашли должного применения, хотя уже сегодня могут быть востребованы промышленностью и строительством.

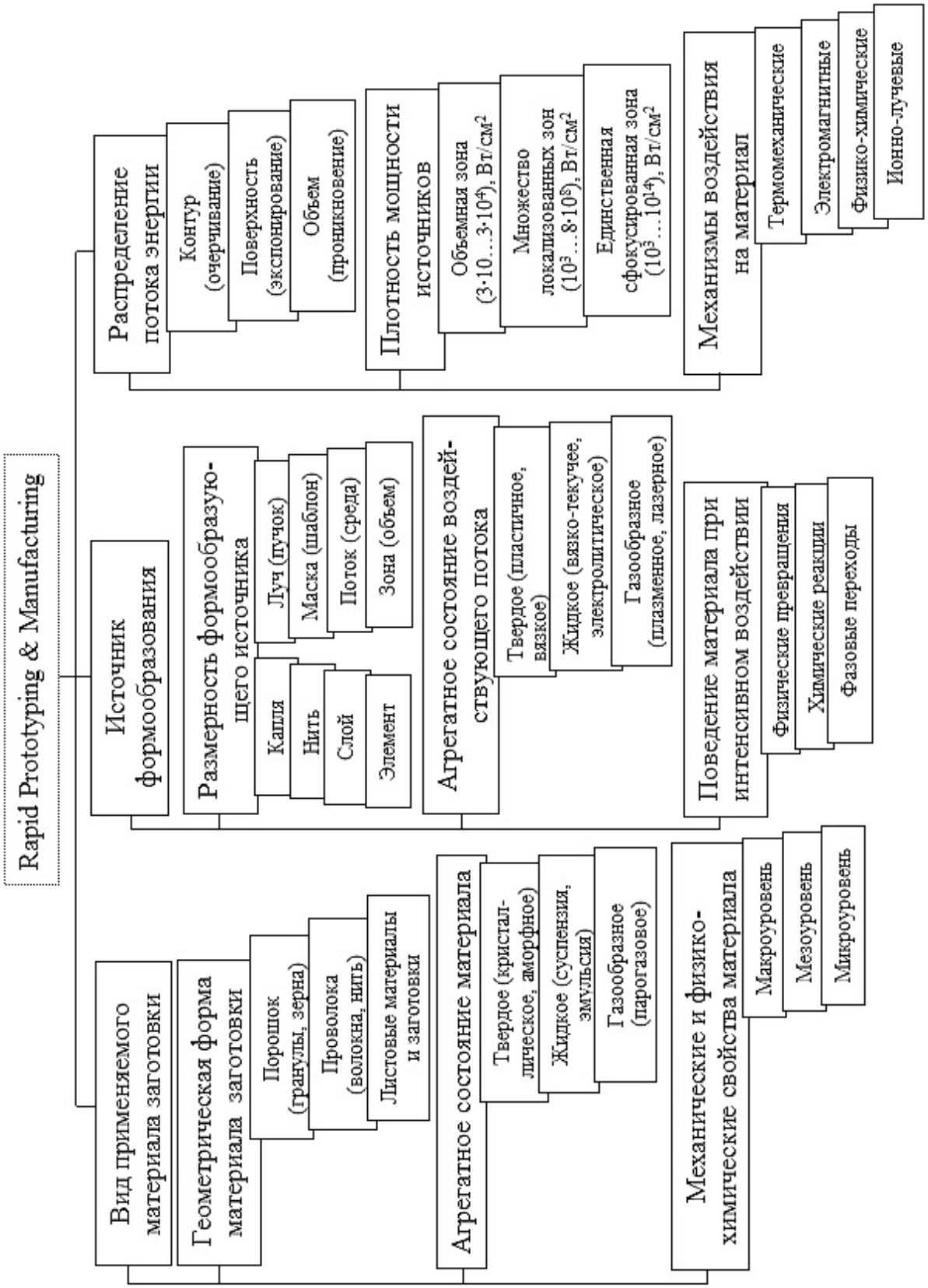


Рисунок 1 – Процессы оперативного макетирования и производства изделий

Широко используемые в мировой практике и новые проектируемые технологии послойного синтеза позволили предложить новую классификацию (рис. 1) из которой следует, что наиболее перспективно применение аддитивных технологий создания слоев и формообразования изделий, использующих различные сочетания материалов и источников энергии. Это в свою очередь ставит задачи распределения компонентов материалов и потоков энергии не только по заданному контуру или поверхности, но и по глубине от поверхности изделия, а также по характеру подачи энергии или материала и изменению его свойств, определяемому тепло-, электрофизическими и другими критериями.

Таким образом, при проектировании технологии аддитивного синтеза применяются как методы формообразования деталей из композиционных материалов, использующие потоки энергии и компонентов материала, так и методы автоматизации и управления процессами оперативного макетирования и производства, как отдельных слоев, так и изделия в целом.

Волошко О.В., Выслоух С.П. НТУ Украины
«Киевский политехнический институт
имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ НОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Применение новых материалов и технологий изготовления деталей, совершенствование существующих видов резания вызывают необходимость оценки обрабатываемости материалов. Данное свойство материала определяет возможность достижения заданных технологических требований к изготовлению детали при минимальной стоимости и необходимой производительности механической обработки резанием. Возможности современной вычислительной техники и методов многомерного статистического анализа позволяют по другому подойти к решению задачи определения обрабатываемости материала как относительной, так и абсолютной, то есть назначения рациональных режимов резания. Для этого необходимо знать реальные значения характеристик химического состава и физико-механических свойств обрабатываемого материала. Данная информация является исходной для предлагаемой методики определения его обрабатываемости [1].

Для реализации данной методики все конструкционные материалы делят на классификационные группы по совокупности информации об их структуре, химическом составе и физико-механических свойствах. В пределах каждой классификационной группы методами факторного анализа [2] выполняют обработку информационных массивов с целью сжатия начальной информации и получения, таким образом, значительно меньшего количества латентных переменных без потери информативности исходной информации. Используя полученные переменные, за специальным алгоритмом определяют комплексный параметр каждого конструкционного материала классификационной группы, которая учитывает все его характеристики [3]. Путем сравнения полученных параметров исследуемого и эталонного материалов можно определить обрабатываемость любого конструкционного материала, входящего в одну классификационную группу.

Литература

1. Вислоух С.П. Методика моделювання та оптимізації параметрів процесу різання. / С.П. Вислоух, О.В. Волошко // Резание и инструмент в технологических системах: Международ. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – Вып. 70. – С. 90–99.

2. Выслоух С.П. Факторный анализ технологической информации / С.П. Выслоух // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2000. – Вып. 100. Машиностроение. – С. 26–29.

3. Роговий О.М. Система автоматизованої обробки технологічної інформації / О.М. Роговий, С.П. Вислоух, О.В. Волошко // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 45. – С. 157–166.

Геворкян Э.С., Кислица М.В. Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков,
Прокопив Н.М. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

НОВЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МИКРО AL_2O_3 И SIC (НАНО) ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На сегодняшний день разработано широкую гамму керамических материалов инструментального назначения, из которых про-

мышленно производятся режущие пластины для чистовой, получистовой обработки конструкционных материалов твердостью 58–65 HRC. При этом основным соединением таких материалов является оксид алюминия, который имеет высокую твердость, физическую и химическую инертность к сплавам на основе железа. Но недостаточная механическая прочность (Rbm = 300–350 МПа) и теплопроводность (18–20 Вт/м·К) ограничивают применение его в современных условиях высокопроизводительной лезвийной обработки новых высокоизносостойких материалов.

Наиболее эффективным решением этой проблемы является создание композиционного материала на основе оксида алюминия и волокон карбида кремния [1]. Вместе с тем, по доступности, цене высококачественных порошка оксида алюминия, а особенно волокон карбида кремния, технологичностью изготовления режущих пластин этот материал можно отнести к категории «экзотических». На сегодня проводятся интенсивные исследования в поиске новых высокоэффективных путей в получении новых конкурентных режущих материалов [2, 3]. Несмотря на это, развитие машиностроительной отрасли требует разработки высоко функциональных режущих материалов. Поэтому создание новых видов керамических материалов, особенно в условиях глобальной экономии, с использованием доступных на рынке исходных порошков и наличии отечественной высокоэффективной технологии их синтеза остается актуальной задачей.

Смеси порошков получали в шаровой мельнице с шарами из оксида алюминия. Образцы с концентрацией 5, 10, 15 и 20% (по масс.) получали в специально разработанной установке электроспекания [4]. Параметры режима электроспекания были следующие: температура T = 1500 °С, давление P = 30 МПа, продолжительность изотермической выдержки 2,5 мин.

Показано, что структура образцов представляю собой каркас из оксида алюминия, в котором стохастической распределены зерна SiC. При этом размер последних в 2–10, а отдельных зерен в 50 раз больше их размер в исходном состоянии. Выявлена прямая корреляция этого показателя с содержанием порошка карбида кремния в исходной смеси. Это свидетельствует об их агломерировании в процессе реализации технологических стадий приготовления порошковой смеси и спекания. Установлено также сохранение исходного фазового состава компонентов в структуре испеченного образца. Установлено, что максимальную (K_{1c} = 4,0±0,2 МПа·м$^{1/2}$) трещиностойкость, прочность в условиях изгиба ($\sigma_{изг}$ = 560±10 МПа); и

твердость (HV (15) = 20,3±0,2 ГПа) имеет композит полученный из смеси с 15 мас.% карбида кремния. Такой уровень характеристик полученного материала имеет наиболее распространенный режущий керамический материал смешанного типа Al_2O_3-TiC. При этом теплопроводность составляла 35 Вт/м·К, что в 1,5 раза больше.

Таким образом, полученный материал по своим характеристикам может использоваться как инструментальный материал для лезвийной высокопроизводительной обработки. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение механических свойств, путем предупреждения образования агломерации наноразмерных зерен SiC в каркасе с оксида алюминия, а также определение эффективных областей применения.

Литература

1. Abraham T. Powder Market Update: Nanoceramic Applications Emerge / T. Abraham // Am. Cer. Soc. Bull. – 2004. – V. 83, № 8. – P. 23.

2. Shia X.L. Yangb Mechanical properties of hot-pressed Al_2O_3/SiC composites / X.L. Shia, F.M. Xua, Z.J. Zhanga, et al. // Mat. Sci. and Eng. – 2010. – A 527, P. 4646–4649

3. Прокопів М.М. Нова різальна кераміка для високоефективного переривистого точіння загартованих сталей / М.М. Прокопів // Інструментальний світ. – 2011. – № 4. – С. 30–31.

4. Пат.72841 Україна, МПК (2012.01)B22F 3/00.8. Пристрій для гарячогопресування порошківшляхом прямого пропусканням електричного струму / М.О. Азеренков, Е.С. Геворкян, С.В. Литовченко та ін. – Бюл «Пром. власність». – 2012. – №16.

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

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ БЕЗВЕРШИННЫХ РЕЖУЩИХ КРОМОК ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ СО СПИРАЛЬНО-СТУПЕНЧАТЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НОЖЕЙ

Повышение производительности фрезерования плоских поверхностей является важной задачей современного машиностроe-

ния и может достигаться за счет повышения подачи и/или скорости резания. В свою очередь, интенсификация скорости резания обуславливает необходимость применения сверхтвердых инструментальных материалов, что резко повышает себестоимость обработки, особенно для многолезвийных инструментов. Увеличение режимов резания также вызывает ухудшение динамического состояния технологической обрабатывающей системы, чем ограничивается возможность повышения производительности обработки. Поэтому возникает необходимость разработки прогрессивных конструкций торцевых фрез, которые характеризуются лучшей динамической стабильностью процесса обработки, рассчитаны на условия резания с увеличенными подачами и обеспечивают необходимое качество поверхности. К ним относятся фрезы со спирально-ступенчатыми схемами резания, с безвершинными режущими кромками, и отличаются переменными площадями среза для разных ножей.

В предыдущих работах авторов предложена конструкция торцевой фрезы с цилиндрической передней и плоской задней поверхностями ножей, расположенных на участках спирали Ферма на тороидальном корпусе. Для научного обоснования загруженности ножей предложенной фрезы необходимо разработать имитационную модель определения площади среза для ножей всех ступеней.

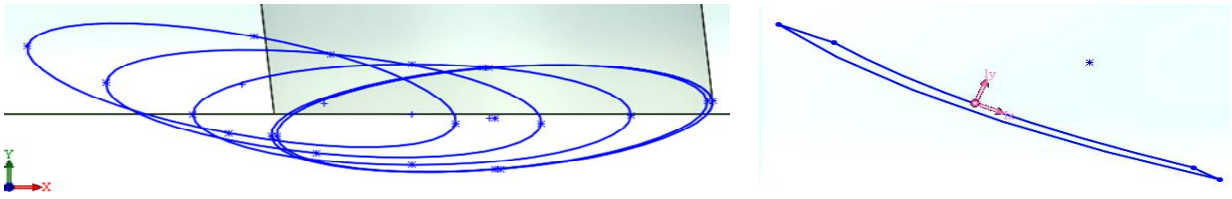
Было проведено имитационное моделирование загруженности режущих кромок в среде SolidWorks Motion путем графического моделирования движения фрезы и заготовки. За счет создания эскиза в контексте сборки и формирования проекций режущих кромок, получено плоские фигуры (которые есть сечениями среза материала) и определены их площади.

Для имитационного моделирования создана твердотелая сборочная модель фрезы и заготовки. Для использования получистовой обработки (глубина резания 3 мм) предлагается расположение на тороидальном корпусе торцевой фрезы 12 ножей по спирали Ферма по ступенчатой схеме резания (3 участка по 4 ножа) с равномерным угловым шагом между ножами. Диаметр фрезы – 160 мм, диаметр ножей – 10,8 мм, угол наклона режущих узлов – 6, 0, 6, 12º, задний угол – 16º. Ширина фрезерования B = 82 мм.

Имитация взаимного перемещения заготовки и фрезы реализовывалась двумя двигателями: линейным (имитирует подачу заготовки) и вращательным (имитирует вращение фрезы). Скорость движения линейного двигателя – 1,33 мм/с (подача заготовки $s_{мин}$ = 80 мм/мин); частота вращения линейного двигателя – 200 об/мин. В

моменты времени исследования, когда центры задних поверхностей ножа фрезы поочередно совпадали с базовой плоскостью (основная плоскость, которая проходит через ось фрезы и направление подачи), создавались проекции режущих кромок на эту плоскость (рис. 1, *а*).

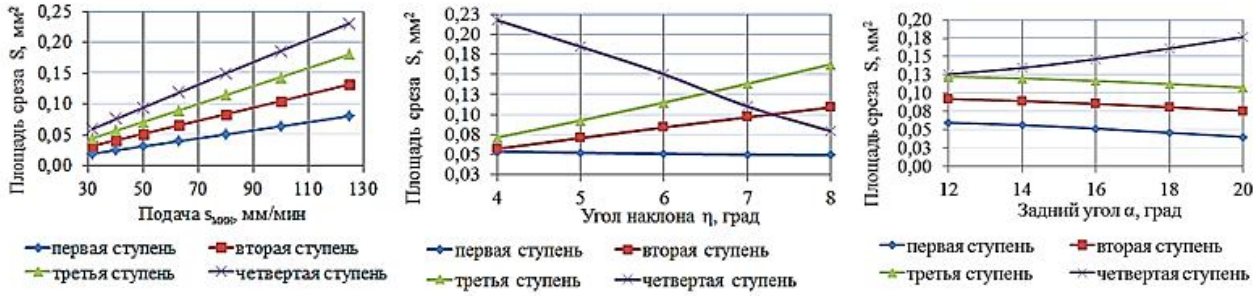
Для определения площади среза полученный эскиз редактировался путем обрезания лишних элементов для формирования поперечного сечения среза (рис. 1, *б*). На основании геометрии эскиза программный продукт SolidWorks определяет его площадь с указанной точностью.



а *б*

Рисунок 1 – Формирование эскиза путем проецирования режущих кромок на дополнительную плоскость:
а – проекции совокупности режущих кромок; *б* – форма среза

Было исследовано влияние величины подачи, угла наклона режущих узлов и заднего угла на площадь среза каждого ножа торцевой фрезы в произвольной точке дуги контакта (рис. 2).



а *б* *в*

Рисунок 2 – Влияние подачи, угла наклона режущих узлов и заднего угла на площадь среза каждого ножа торцевой фрезы

Таким образом, во всем диапазоне изменения величины подачи (рис. 2, *а*) наиболее нагруженными оказываются ножи четвертой ступени фрезы (черновые) и наименее нагруженными – ножи первой ступени (чистовые). Графические зависимости (рис. 2, *б*) свидетельствуют, что для исследуемой фрезы при условии обработки общей глубиной резания 3 мм можно рекомендовать назначения углов наклона режущих узлов в размере 6°, так как в этом случае площадь среза ножами разных ступеней будет пропорционально

увеличиваться от первой ступени к четвертой. В соответствии с рис. 2, *в* рационально назначить для торцевой фрезы предложенной конструкции величину заднего угла в размере 16º, поскольку именно в таком случае площадь среза ножами разных ступеней будет равномерно возрастать от первой ступени к четвертой.

Големы С. «BEST-BUSINES a.s.”,
Кунштат, Чешская Республика
Середа Г.В., С Рябченко.В., Валуйский В.Ю.
ДП «Бест-Бизнес», Киев, Украина

СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТОВ УКРАИНЫ И ЧЕХИИ НА АБРАЗИВНЫЕ КРУГИ

Среди многочисленных Европейских производителей абразивных инструментов, в Чехии существует фирма “BEST-BUSINESS a.s.”, которая на сегодняшний день является крупнейшим поставщиком абразивных кругов в Украину. “BEST-BUSINESS a.s.” производит шлифовальные круги на керамической, бакелитовой и вулканитовой связке, а так же абразивные порошки электрокорунда и карбида кремния. Выпускаются круги диаметром от 80 до 750 мм, различной твердости и структуры, а так же высокопористые абразивные круги, круги для шлифования зубчатых колес и круги для бесцентрового шлифования.

При назначении характеристик абразивных кругов для шлифования, технологи часто сталкиваются с проблемой сравнения соответствующих характеристик разных производителей абразивного инструмента. Мы приведем некоторые обозначения абразивных материалов, используемых «BEST-BUSINESS a.s.» для изготовления шлифовальных кругов в соответствии с Чешскими стандартами (табл. 1).

На фирме «BEST-BUSINESS a.s.», значение зернистости абразивных материалов обозначаются по стандарту FEPA (Европейская Организация изготовителей абразивов). В странах СНГ значение зернистости абразивных материалов до недавнего времени измерялось в соответствии с ГОСТ 3647. Уже несколько лет в Украине, России и Белоруссии принят стандарт FEPA для обозначения зернистости. Для сравнения зернистостей приводим соответствие стандарта ГОСТ и стандарта FEPA – F (табл. 2).

Таблица 1 – Обозначение стандартов шлифовальных кругов

Абразивный материал	Чешское обозначение
Карбид кремния черный	C48
Карбид кремния зеленый	C49
Электрокорунд белый	A99B
Электрокорунд нормальный	A96
Электрокорунд розовый	A98
Монокристаллический корунд	A95
Монокристаллический SG корунд	AG92

Таблица 2 – Соответствие стандарта ДСТУ и стандарта FEPA–F

Зернистость по FEPA–F	Зернистость по ДСТУ	Размер зерен, мкм
8	–	2800–2360
10	200	2360–2000
12	160	2000–1700
14	–	1700–1400
16	125	1400–1180
20	100	1180–1000
22	–	1000–850
24	80	850–710
30	63	710–600
36	50	600–500
40	–	500–425
46	40	425–355
54	32	355–300
60	25	300–250
70	20	250–212
80	16	212–180
90	–	180–150
100	12	150–125
120	10	125–106
150	8	106–90
180	6	90–75
220	5	75–63

При закупке импортных абразивных кругов специалисты часто не могут определить твердость круга иностранного производителя. Твердости кругов различных производителей могут несколько от-

личатся друг от друга, это связано с особенностями применяемой технологии производства и контролем твердости кругов. На фирме «BEST-BUSINESS a.s.» твердость абразивных кругов оценивается по стандарту FEPA. В табл. 3 приведены соответствия твердости по ГОСТ и стандарту FEPA.

Таблица 3 – Соответствия твердости

ДСТУ	BM1	BM2	BM3	M1	M2	M3	CM1	CM2	C1
FEPA	F-G	G	G-H	H	I	J	K	K-L	L-M
ДСТУ	C2	CT1	CT2	CT3	T1	T2	BT1	BT2	
FEPA	M-N	N	O	O-P	P-Q	Q-R	R	R-S	

В Чехии, как и практически во всех Европейских странах, в том числе и на Украине, структура кругов обозначается цифрами. Очень плотная структура – 1 и 2, плотная – 3 и 4, средняя – 5 и 6, открытая – 7 и 8, очень открытая – 9 и 10, пористая от 11 и выше. Для структур от 1 до 10 обозначение связано с технологией изготовления, структуры о 11 и выше зависят от применения порообразователей. На фирме «BEST-BUSINESS a.s.» применяется своя технология производства абразивных кругов, в том числе и в производстве высокопористых кругов, запатентованная в странах Евросоюза и странах СНГ.

Приведенные таблицы позволяют сопоставить стандарты обозначения абразивных шлифовальных кругов Европейских производителей и, в частности Чешских, со стандартом обозначения абразивных кругов в Украине и рекомендовать их к использованию отечественными потребителями абразивного инструмента.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ВПКМ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Волокнистые полимерные композиционные материалы (ВПКМ) широко используются в современном авиа- и ракетостроении из-за своих уникальных свойств таких как высокое соотношение прочно-

сти и жесткости к весу, которые обеспечивают низкий вес летательного аппарата что является одним из важнейших критериев производительности летательного аппарата. Технологический процесс формирования ВПКМ позволяет создавать высокоточные детали различной формы. Потому сверление и фрезерование ВПКМ являются основными типами механообработки для создания высокоточных отверстий и пазов для крепления деталей из ВПКМ между собой. Сверление ВПКМ сопровождается образованием нетипичных для металлообработки дефектов. Это связано с многокомпонентным составом композитов и как следствие их неоднородной, слоеной структурой. К таким дефектам относятся расслоение, несрезанные волокна, выкрашивание и термодеструкция матрицы композита, что негативно влияет на надежность болтовых и клепочных соединений. Потому, определение качества просверленных отверстий в ВПКМ является одним из ключевых задач для обеспечения надежности сборки летательных аппаратов. В литературе [1–2] описано множество методик определения качества отверстий в ВПКМ, которые основаны на оптической микроскопии просверленных отверстий. В производстве использование оптических микроскопов не предоставляется возможным при обработке крупногабаритных деталей, а также необходимости экспертной оценки величины дефектов. В данной работе предложен альтернативный метод оценки качества отверстий в ВПКМ путем измерения сигнала акустической эмиссии в процессе сверления.

Метод заключается в использовании пьезоэлектрического датчика для регистрации излучения акустической эмиссии (АЭ). Датчик крепился к обрабатываемой детали в месте сверления. При выходе сверла из зоны резания образованные несрезанные волокна ВПКМ контактируют с не режущей частью вращающегося сверла. Было установлено, что регистрируемый сигнал АЭ, который соответствует описанным контактным взаимодействиям, может характеризовать качество просверленного отверстия, а именно величину несрезанных волокон ВПКМ. Под величиной несрезанных волокон подразумевается их площадь.

Анализ экспериментальных исследований по сверлению деталей из углепластика спиральными сверлами с использованием датчика АЭ, позволил получить эмпирическую зависимость площади несрезанных волокон от характеристик сигнала АЭ:

$$s = \frac{\pi D^2 \sigma}{4k}, \qquad (1)$$

где D – диаметр отверстия; σ – среднеквадратическое отклонение сигнала АЭ на отрезке, который соответствует контактным взаимодействием несрезанных волокон и сверла; k – безразмерный коэффициент.

Коэффициент k определяли экспериментальным путем при сверлении заготовок из углепластика толщиной 8 мм с перекрестным армированием. Использовались твердосплавные сверла диаметром 8 мм с двухплоскостной заточкой. Сверление проводили с частотами вращения шпинделя 4000 и 7000 об/мин, используя фрезерный ЧПУ станок EMCO PC MILL 300 (США). Сигнал акустической эмиссии был зарегистрирован с помощью пьезокерамического датчика ДМИС-1 [3], который был разработан в Институте сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины. Примеры сигналов представлены на рис. 1.

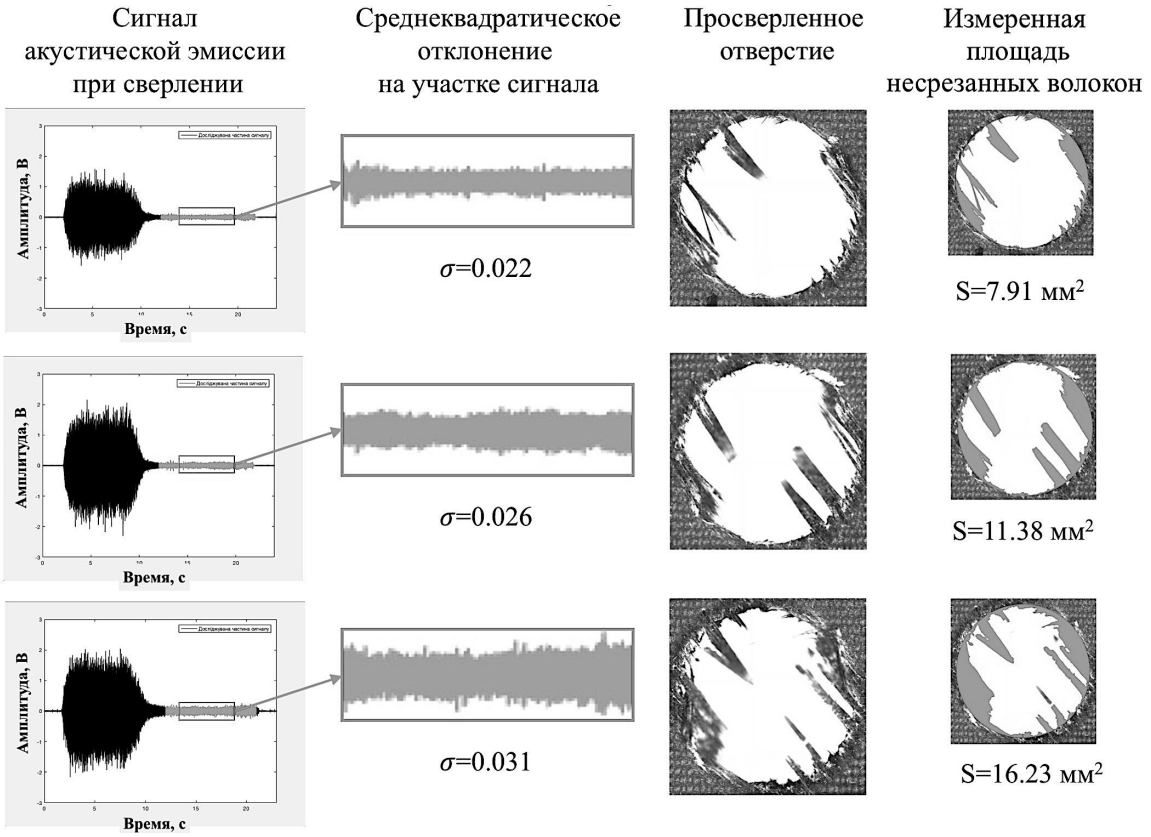


Рисунок 1 – Измеренные сигналы АЭ и изображения просверленных отверстий при сверлении с частотой вращения 4000 об/мин и подачей 80 мм/мни

Датчик был подключен через АЦП (National Instruments 9223, (США) к ПК. Он был закреплен на поверхности обрабатываемой детали через слой масляной смазки на расстоянии ~20 мм от края отверстия. Площадь несрезанных волокон измеряли путем цифрового анализа изображений просверленных отверстий в обработанных де-

талях (см. рис. 1) используя среду программирования MATLAB. Рассчитанные коэффициенты k равны 0,12 для частоты вращения 4000 об/мин и 0,043 для 7000 об/мин вероятностью $p = 0{,}91$.

Предложенный метод оценки качества обеспечил анализ качества просверленных отверстий, который может быть использован в промышленных условиях за счет портативности и неприхотливости датчиков акустической эмиссии по сравнению с использованием оптических микроскопов для анализа изображений просверленных отверстий.

Литература

1. Gaugel, S. (2016). A comparative study on tool wear and laminate damage in drilling of carbon-fiber reinforced polymers (CFRP) / S. Gaugel, P. Sripathy, A. Haeger et al. // Composite Structures. – 2016. – 155. – P. 173–183.

2. Faraz A. Cutting edge rounding: An innovative tool wear criterion in drilling CFRP composite laminates / A. Faraz, D. Biermann, K. Weinert // Int. J. of Mach. Tools and Manufact. – 2009. – V. 49, №. 15. – P. 1185–1196.

3. Девин Л.Н. Широкополосные датчики акустической эмиссии для диагностики состояния режущих инструментов / Л.Н. Девин, Н.В. Новиков // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 4. – С. 81–85.

Григорьева Н.С. Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина

МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ

Конкурентоспособность любой продукции в первую очередь зависит от ее качества, понесенных на это расходов, которые закладываются при ее разработке, производстве и будущей эксплуатации (потреблении). Поэтому и высокая конкурентоспособность должна закладываться на всех этапах ее жизненного цикла и хорошо управляться. Для конкурентоспособности продукции все большее значение приобретает интегрированная логистическая поддержка, обеспечивающая высокие эксплуатационные показатели.

Для решения этой проблемы используются различные методики проектирования высокоэффективных конструкций изделий, разработки современных технологических процессов и качественных услуг, т.е. можно говорить об определенных стадиях разработки продукции. Такие стадии состоят из многих этапов, главными из которых будут:

• проведение маркетинговых исследований рынка по объектам проектирования или разработки, анализ требований, составление технического задания на будущую разработку;
• установление эксплуатационных характеристик и их связи с показателями качества, уровнем конкурентоспособности;
• формирование схемы идеального конструкционного решения, существующих ограничений, ее материализации, геометрической конфигурации, структуры, размеров, допусков и т.п.;
• формирование способов и методов наилучшего решения задачи, структуры процесса или услуги, режимов и т.п.;
• проектирование конкурентоспособных вариантов конструкции изделия, разработки процесса или услуги;
• выбор критериев и оптимизация варианта решения;
• выбор способов обеспечения основных показателей качества;
• расчет показателей качества;
• оценка уровня конкурентоспособности продукции;
• оформление технической документации;
• изготовление, испытание и оценка опытных образцов;
• доработка объектов разработки по результатам испытаний;
• окончательное оформление технической документации;
• запуск в производство опытной серии продукции;
• испытания опытной серии продукции и окончательный анализ и синтез проекта;
• корректировка проекта, утверждение и запуск конкурентоспособной продукции в производство.

Логистическое формирование показателей качества продукции предусматривает осуществление процесса с помощью функций логистики, которое выполняется в логистических потоках системы [1]. Логистическими потоками считаются материальные, информационные, энергетические, рабочие, финансовые, которые взаимосвязанные и взаимодействующие между собой. Функциями логистического управления является тактика логистики, организация, планирование, управление, вычисление, контролинг, передача, обслуживание, сервис. Таким образом, за счет использования сформировавшейся логи-

стической системы со своими потоками и процессами, протекающими в них, удается значительно расширить поле поиска, учитывающее взаимозависимости и как результат получать как более полные и обоснованные оптимальные решения по установлению высококачественной продукции, так и отдельных показателей. Кратко, логистическая система качества продукции ориентирована на системный подход, эффективность, высокое качество при меньших затратах, за счет чего и формируется дополнительный эффект по сравнению с не логистическим подходом. На систему распространяются принципы больших систем: система является эффективной, когда состоит из меньшего количества подсистем, которые компонуются из минимального числа частей и элементов. Эффект системы будет большим от эффекта составляющих частей или элементов за счет взаимосвязей и взаимодействия между ними.

Принципами концепции логистики являются: планирование, организация и контроль, структуризация, различные взаимосвязи, синергетические эффекты, интеграция компонентов, реалии рынка, инструменты маркетинга, динамичность, приспосабливаемость, координация функций, мышление категориями общих расходов и обслуживания. Логистическая система решает основные вопросы управления качеством конкурентоспособной продукции в комплексной зависимости с возможным многократным возвращением на предыдущие этапы и оптимизацией решения. Здесь возможны многочисленные логистические конфликты затрат, требующие их минимизации при нахождении оптимального решения. В общем, это составляют логистические затраты. Выходом системы является логистическое обслуживание в виде показателей качества и затрат на их обеспечение в соответствующем состоянии, месте и времени. Как видно, отношение выхода к входу логистической системы, т.е. логистических услуг к логистическим затратам характеризует ее производительность.

Поскольку большинство литературы по этому вопросу было написано экономистами, многие из которых не знают, как обеспечиваются показатели качества и уровень конкурентоспособности продукции на производстве и поэтому не понимают его, то этому вопросу не уделяется должного профессионального внимания и все сводится к пожеланиям. Для решения этих вопросов необходим проектант конструктор и технолог. А каждый показатель качества и уровень конкурентоспособности обеспечивается различными способами. Для изделий - это конструкция, структура, работа, затратность, эффективность, а для процессов и услуг - структура операций, ее элементы, способы

реализации, эффективность. Поэтому такая информация должна быть изложена детально и с общими типовыми примерами.

Для лучшего обеспечения конкурентоспособности продукции установлен ряд принципов, таких как: ориентация на заказчика, лидерство, привлечение работников к процессам повышения качества, системный и процессный подход к постоянному улучшению качества, уменьшению затрат, принятию обоснованных решений, взаимовыгодных отношений с поставщиками. Ориентация на заказчика предусматривает понимание текущих и будущих их потребностей, превышение их ожиданий. Лидерство предусматривает, что руководство устанавливает единство цели и направлений деятельности. Речь идет о внутренней среде, которая стимулирует привлечение работников к выполнению поставленных задач с полным использованием их способностей и достойной оплатой.

В связи с развитием информатики, появлением быстродействующих компьютеров нового поколения, соответствующего программного обеспечения, в общем достижений науки и техники, появились существенно новые возможности значительного повышения качества и конкурентоспособности продукции за счет применения методов виртуализации. Поэтому стало возможным осуществлять их опережающую оценку при отсутствии реальной продукции, которая только начинает разрабатываться, т.е. иметь дело с ее виртуальным отображением при технической подготовке производства [1].

Статистика отмечает, что только 10% разрабатываемых конструкций и технологий внедряются в производство, остальные по разным причинам отсеиваются. С помощью виртуализации это можно изменить и выбрать лучшие решения, устраняя продукцию с недостаточной конкурентоспособностью. Тем более, что большинство известных оценивающих методов проводится, когда продукция уже готова и что-то изменить становится часто невозможным или это требует значительных затрат.

Концепция виртуальной разработки структуры продукции [1], например, конструкции изделий, технологических процессов их изготовления и эксплуатации заключается в получении динамического виртуального образа конструкционных, технологических и эксплуатационных сред на компьютере, которые включают в себя определенный набор технических, программных и аппаратных средств, а также моделирующих, информационных и интеллектуальных ресурсов для обеспечения как качества, так и конкурентоспособности объектов виртуальной разработки за счет оптимального управления со-

стоянием указанных сред. Виртуализация конструкции изделий или необходимого технологического оборудования и оснащения предусматривает наличие виртуальных объектов конструкции среды и виртуальных форм их взаимодействия, в результате чего создается виртуальная конструкция разрабатываемых изделий. Подобно виртуализация производственных в частности технологических процессов или эксплуатации предполагает наличие виртуальных объектов технологических и эксплуатационных сред с виртуальными их взаимосвязями. При этом под виртуальным объектом подразумевается совокупность технических, аппаратных и программных средств, которые изменяются во времени в период его формирования и являются объединенными в целостную структуру.

Литература

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

Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Степанова И.И.
НТУ «Харьковский политехнический институт»,
Харьков, Украина

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ АНОДНО-ИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАНОЧНОЙ ПОСАДКИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Одним из самых высокотехнологичных современных методов формообразования труднообрабатываемых материалов, в том числе особо твердого монокарбида вольфрама и синтетических поликристаллических алмазов, является созданное и около полувека разрабатываемое в НТУ «ХПИ» алмазно-искровое шлифование. Однако для его реализации на универсальном оборудовании до сих пор выполняется специальная электроизоляционная модернизация с приостановлением эксплуатации станка и переделом ответственного за его точность шпиндельного узла.

Индифферентные наличию токозащиты шпиндельного узла шлифовального станка от корпуса конструкции алмазно-абразивных

инструментов (ААИ) для комбинированных действием электрического тока в зоне резания методов обработки в национальной систематизации, мировой исследовательской, рекомендательной и производственной практике инструментов из сверхтвердых материалов до наших разработок не рассматривались. В НТУ «ХПИ» эти работы выполняются последние несколько лет. Токозащиту металлических корпусов ААИ предлагается осуществлять нанесением специально разработанных износостойких диэлектрических покрытий на основе семейства эпоксидно-диановых смол, по патенту Украины на полезную модель (далее – патент Украины) 92786 (2014), а также электроизоляционным микродуговым оксидированием (МДО) – для корпусных решений из алюминиевых сплавов (АС).

В алюминиевых решениях корпусов ААИ, массо-динамически эксплуатационно предпочтительных, традиционно широко используется сплав АК6, в современной практике ведущего национального производителя – ПАТ «Полтавский алмазный инструмент» – также Д16, оба ГОСТ 4784-97.

Для бездефектной модернизации традиционных ААИ в условиях потребителя предложена специальная оснастка круга перед погружением в емкость формирования анодно-искрового покрытия (АИП), исключающая алмазно-металлическую композицию рабочей части ААИ из электрической цепи МДО. В технологическом маршруте изготовления ААИ операция анодного-искрового МДО должна выполняться до напрессовки на корпус алмазоносного слоя и может осуществляться конвейерным способом с целью повышения производительности выхода покрытых корпусов.

Мировая практика АИП по методу МДО различных вентильных металлов и сплавов на их основе, в том числе алюминиевой, обычно исходит из использования их износостойких, коррозионностойких и теплостойких свойств. Использования АИП в качестве диэлектрических не столь широко распространены и менее изучены, в особенности применительно к задачам точного размерного формообразования. Однако известно, что в применении МДО к АС можно получить защитные АИП толщиной до 400 мкм, выдерживающие электрическое напряжение до 6000 В при диэлектрических параметрах таких покрытий, близких диэлектрикам высшего качества, причем возможным формированием в различных электролитах.

Основу известного эффекта изменения размера в направлении формирования АИП обеспечивает захват атомов ионизированного в химически активный озон кислорода вентильным металлом поверх-

ностного слоя объекта МДО, однако стехиометрическая трансформация металла поверхности в оксидную структуру развивается при этом разнонаправленно, и линейный размерный прирост объекта чисто теоретически не предсказуем. Из предшествующего исследовательского опыта применительно к алюминиевым и титановым сплавам нами также принято во внимание, что существенное влияние на конечный размерный эффект МДО оказывают прежде всего электрические параметры, время протекания процесса, состав электролита и исходный химический состав (выбор марки сплава) субъекта АИП.

Взаимосвязанные задачи изучения размерного эффекта приращения поверхности алюминиевого корпуса ААИ ее МДО и показателей токозащиты формируемого электрически барьерного покрытия рассматриваются нами в связи с разработкой, испытанием, патентной защитой и предложением промышленности ААИ новых конструкций. В них МДО предусмотрено для поверхностей рабочих посадок в разъемных или в неразъемных сборочных соединениях, как это имеет место в технических решениях ААИ с локальной токозащитой корпуса, разработанных на базе корпусных конструкций соответственно конвенционного универсального типа, по патентам Украины 96568 (2015) и 121852 (2017), и специальной, заодно со шкивом рабочего привода, по патенту Украины 117767 (2017), расширившей технологические возможности японского прототипа. Для определения структуры и содержания технологического маршрута производства ААИ предложенных конструкций необходим достоверный прогноз размерного и связанного с ним диэлектрического результата операции МДО, окончательной или с увязанной с нею предварительной (расточной) или последующей (доводочной) размерной обработкой. При этом следует принимать во внимание, что если понижение некоторой расчетной толщины АИП со служебной функцией обеспечения, например, износостойкости принципиально не препятствует работоспособности детали, хотя и понижает ресурс высокофункциональной эксплуатации подвергнутой МДО поверхности, то в задачах токозащиты проведение такого понижения следует рассматривать с позиций риска доэксплуатационной выбраковки детали техническим контролем.

Исследования размерного эффекта МДО проведены применительно к характерным представителям АС – Д16 и АК6, современно используемым отечественной инструментальной промышленностью в производстве корпусов ААИ, и выполнены в условиях использования источников переменного электрического тока и с ква-

зилинейной характеристикой тока, формирования АИП в типичных растворах щелочи, жидкого стекла и их комбинаций.

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что АИП толщиной 30–60 мкм, сформированные МДО, обеспечивают объемное электрическое сопротивление посадочных поверхностей корпусов из этих АС порядка 10^7–10^8 Ом при напряжении пробоя 350–760 В. Дальнейшее наращивание толщины покрытий приводит к снижению удельных показателей этих характеристик, соответственно удельного объемного сопротивления и электрической прочности. При этом прирост исходных линейных размеров поверхностей с покрытиями составляет 50–85% от общей толщины сформированных на них алюмооксидов. Выявлено также, что режимом МДО с произвольно падающей мощностью обеспечиваются более высокие электрофизические показатели токозащиты в сравнении с гальваностатическим: по удельному объемному сопротивлению – в 1,5–2,5 раза, а по электрической прочности – в 1,4–2,1 раза, в зависимости от сплава и состава электролита.

Наилучшие показатели качества исследованных АИП на обоих сплавах и в обоих режимах МДО – наивысшие значения удельного объемного сопротивления и электрической прочности, наименьшую шероховатость и пористость поверхности – обеспечивает осуществление процесса в силикатно-щелочном электролите с композицией в нем «калиевая щелочь + жидкое стекло» (г/л) в соотношении 1:6.

По результатам выполненных исследований базовыми режимом и электролитом для изготовления опытно-экспериментальной партии инновационных ААИ и разработки рекомендаций для промышленности приняты режим МДО с произвольно падающей мощностью и силикатно-щелочной электролит с композицией в нем «калиевая щелочь + жидкое стекло» (г/л) в соотношении 1 : 6.

Пористость АИП по методу МДО определяет их основной недостаток как электроизоляционных – ухудшение диэлектрических показателей со временем, особенно во влажном воздухе. Аналогичная среда может возникать также в условиях шлифования с использованием технологических жидких сред. К сожалению, получить такие покрытия абсолютно плотными невозможно, поскольку это обусловлено сущностью самого процесса МДО, но можно минимизировать пористость за счет оптимизации технологических параметров.

Более радикальный эффект достижим при обработке поверхности покрытий после операции МДО полимерными материалами. Установлено, что насыщение поверхностной пористости компози-

цией на основе винилхлорида с низкой вязкостью позволяет в несколько раз повысить характеристики диэлектрической защиты и их устойчивость во влажной среде. Способ запатентован, патент Украины 111473 (2016).

Исследование размерного эффекта и электрически барьерных свойств поверхностей МДО в рамках разработки конструкций и технологий ААИ с электроизоляционными АИП их корпусов из АС выполняется в в рамках НИР по проекту НТУ «ХПИ» ID 64244 от 26.08.2016 р. (№ регистрации 0109U007406) в плане научных исследований и разработок учреждений Министерства науки и образования Украины на 2017–2018 гг.

Дашкевич В.Г., Ковальчук А.В., Судников М.А.
Белорусский национальный технический
университет, Минск, Беларусь

К ВОПРОСУ ТЕРМОДИФФУЗИННОГО БОРОАЛИТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

В настоящее время накоплен огромный опыт по применению различных видов и способов химико-термической обработки. Тем не менее, получение специальных диффузионных слоев с особой морфологией слоя по-прежнему является актуальной задачей.

Термодиффузионное бороалитирование – процесс одновременного или последовательного насыщения металлов и сплавов бором и алюминием. Применяют данный процесс для повышения, износостойкости и жаростойкости. Проводят бороалитирование различными методами, в частности, насыщением из порошковых сред и паст [1]. В этом случае решающим фактором для формирования определенной структуры слоя будет иметь состав порошковой смеси, а именно соотношение алитирующей и борирующей составляющих.

Для бороалитирования представляется возможным получение диффузионных слоев трех структурных типов:

- диффузионные слои близкие по структуре к алитированным;
- диффузионные слои близкие к однородным борированным;
- диффузионные слои, состоящие из конгломерата борированных и алитированных фаз.

Третий тип диффузионного слоя достаточно перспективен с точки зрения регулирования функциональных свойств диффузионных слоев, но не достаточно изучен [1–3]. Общеизвестно, что при увеличении количества боридной составляющей в смеси структура стремится к борированной, следовательно, возрастает твердость и износостойкость, а при увеличении алитирующей – к алитированной, соответственно снижается хрупкость и повышается жаростойкость [1].

Анализируя преимущества рассматриваемого двухкомпонентного насыщения, отметим некоторые особенности:

Введение алитирующей составляющей дополнительно обосновано снижением окислительных процессов в смеси и на поверхности образца, особенно на первоначальном этапе, когда идет прогрев контейнера с насыщающей смесью. В этом случае идет интенсивное связывание алюминием кислорода в окислы, что благоприятно сказывается на кинетике насыщения и качестве диффузионных слоев.

Характерное резкое снижение хрупкости диффузионного слоя при бороалитировании, в сравнении с боридным, связано с формированием обособленных включений боридов в алюминидной матрице. В этом случае определяющим для избегания выкашивания боридов или хрупкого разрушения слоя является характеристика упругих свойств алюмининидов железа. Соответственно алюминидную составляющую слоя целесообразно иметь на основе упорядоченных твердых растворов FeAl и Fe_3Al, она более пластична, по сравнению с Fe_2Al_5. Таким образом, с формированием конгломерата фаз предполагается частичное снижение и релаксация внутренних напряжений на межфазной границе и в структуре слоя при деформациях.

Наличие в структуре пор размером от 5 до 15 мкм располагающихся между слоем фазы Fe_3Al (возможно расслоение фазы Fe_3Al, которое характеризуется увеличением области ее гомогенности и образованием при температуре ниже 400 °С так называемого К-состояния) и дисперсной смесью боридов железа у поверхности. Появление пористости связано, по нашему мнению, с эффектом Френкеля и Киркендалла, и свидетельствует о вакансионном механизме диффузии. Вследствие высокой диффузионной подвижности атомов Al и B в решетке α-Fe, вакансии скапливаются позади фронта диффундирующего элемента. Включения боридов железа, обладающие низкой пластичностью способствуют тому, что пористость зарождается вблизи интерметаллида Fe_3Al (до 16 % Al). В дальнейшем это скопление приводит к их коагуляции и образованию пор (рис. 1).

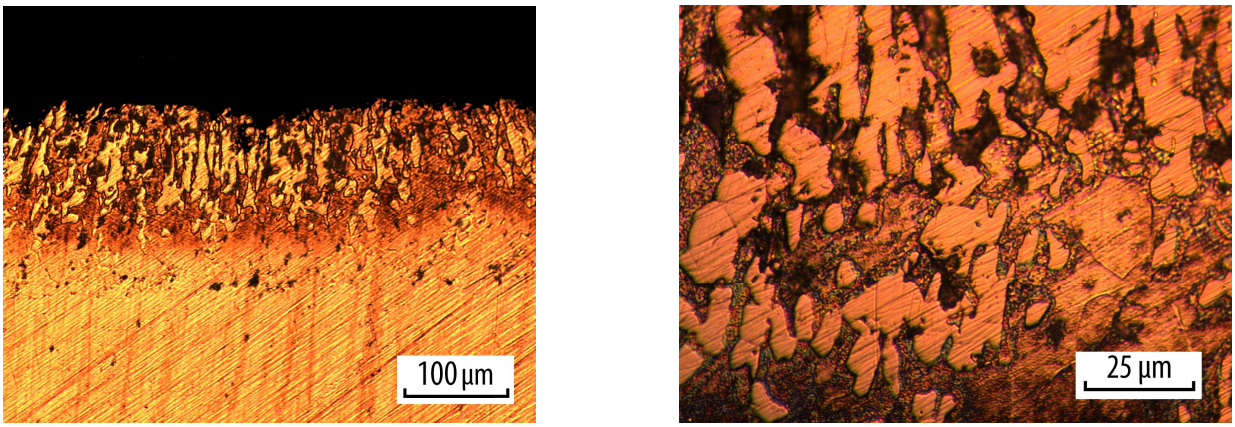


Рисунок 1 – Микроструктуры термодиффузионного бороалитированного слоя с конгломератом боридных и алюминидных фаз

Общая структура слоя полученная из алюминотермической смеси при соотношении борного ангидрида и алюминия 1:1,2 соответственно, после 2 ч обработки, 950 ºС – гетерогенная (см. рис. 1). Состоит из нескольких зон ближе к поверхности это дисперсная смесь боридов и алюминидов железа, расслоившаяся фаза Fe_3Al, далее – твердый раствор B, Al в α-Fe. Микротвердость боридной фазы составила 16,0–16,5 ГПа, твердых растворов 2,4–4,2 ГПа.

Литература

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / под ред. Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981.

2. Ворошнин Л.Г. Борирование стали / Л.Г. Ворошнин, Л.С. Ляхович. – М.: Металлургия, 1978. – 240 с.

3. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.

Девин Л.Н, Рычев С.В. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Смерчинский А.В. НТУ Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ПРИМИНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ГРАНЯХ РЕЗЦА ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

А.В. Бетанели [1] предложил метод определения напряжений в режущей части инструмента, принимая эпюру распределения кон-

тактных нормальных напряжений в форме параболы. Формулы, полученные для плоской постановки задачи А.В. Бетанели, могут быть основой для определения величины вероятности разрушения, но они не учитывают сложного объемного распределения напряжения, которое возникают вдоль режущей кромки на некотором расстоянии от нее. Цель настоящей работы – проверить величины этих напряжений с помощью МКЭ в трехмерной постановке, которые затем будут использовать для расчета вероятности разрушения.

Для изучения процесса тонкого косоугольного точения монокристаллами алмаза в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины использовали автоматизированную систему измерения сил резания [2]. После экспериментов получили результаты составляющих сил резания (рис. 1) в зависимости от скорости резания при глубине 20 мкм.

Метод конечных элементов (МКЭ) позволяет численно решать широкий спектр задач, которые математически формулируются в виде системы дифференциальных уравнений. Этот метод можно использовать для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, термического анализа, решения гидрогазодинамических задач и задач электродинамики [3].

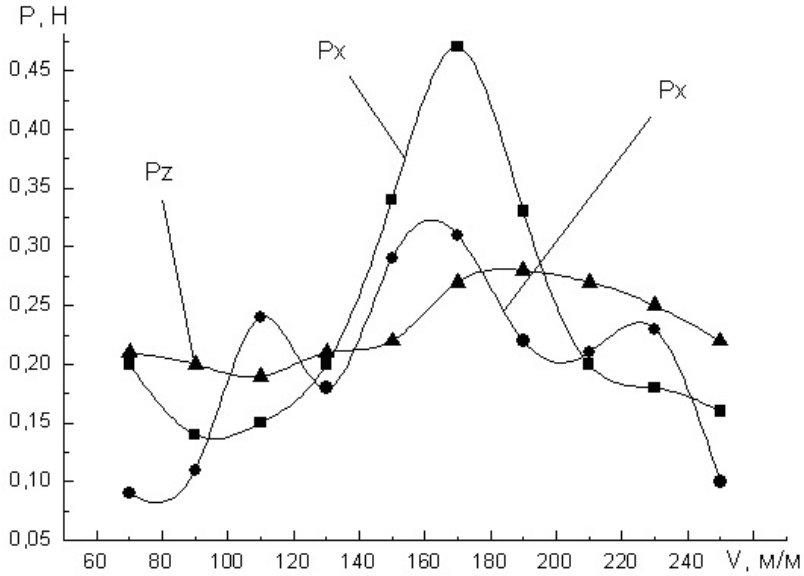


Рисунок 1 – Зависимости составляющих сил резания от скорости

Прочность режущей части инструмента определяли по допустимым напряжениям первого рода [1] аналогично расчету прочности деталей машин и элементов сооружений. Согласно этому методу при действующей нагрузке определяли главное напряжение $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

А.В. Бетанели [1] предложил метод расчета хрупкой прочности режущей части инструмента по равнодействующей сосредоточенной силе резания *R*, приложенной к вершине режущего клина. При этом распределение напряжений принимается как простое радиальное и выражается формулой:

$$S_R = -\frac{2R}{br}\left\{\frac{cos\left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2}+\gamma\right)\right]cos\left[\theta - \left(\frac{\beta}{2}+\gamma\right)\right]}{\beta + sin\beta} + \frac{sin\left[\nu_0 - \left(\frac{\beta}{2}+\gamma\right)\right]sin\left[\theta - \left(\frac{\beta}{2}+\gamma\right)\right]}{\beta - sin\beta}\right\} \quad (1)$$

где R – равнодействующая сила; b – ширина срезаемого слоя; r, θ – полярные координаты; ν – угол, определяющий направление силы резания; β – угол заострения; γ – передний угол.

С помощью программы ANSYS в интерактивном режиме можно определять главное напряжение (Maximum Principal Stress) (рис. 2).

Как следует из рис. 4, в зоне приложения силы возникают сжимающие напряжения, а на некотором расстоянии от режущей кромки – область растягивающих напряжений. Эта область находится на расстоянии r = (1,3–1,5)c, где c – ширина зоны контакта стружки с передней поверхностью, принятая равной толщине материала, который срезается.

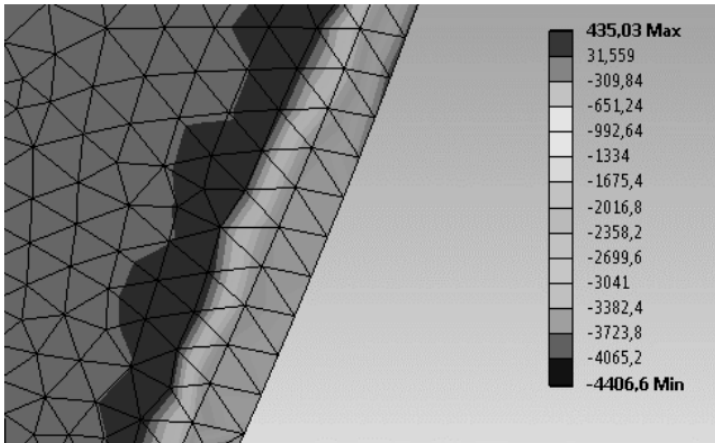


Рисунок 2 – Схема поля распределения главного напряжения σ_1 на передней поверхности

Расстояние от режущей кромки в зоне максимальных напряжений принимали равное 2c. Обычно полная длина контакта c = (1,8–2,5)c_1, где c_1 – длина пластического контакта, которую для $\gamma = 0^o$ вычисляли по формуле

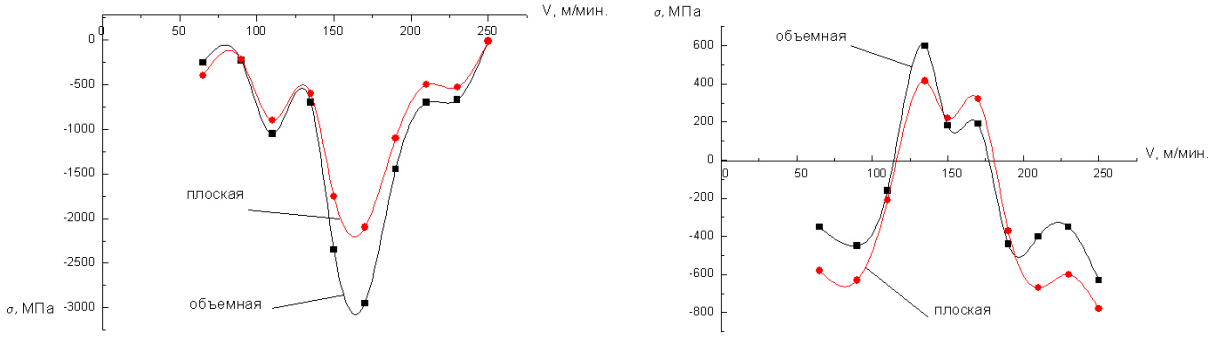
$$c_1 = \frac{a\sin\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\sin\Phi\sin\left(\frac{\pi}{4}+\Phi\right)}, \quad (2)$$

где $a = S\cdot\sin\varphi$ – толщина среза; S – подача; Φ – угол плоскости сдвига.

После расчета математической модели в среде ANSYS были получены значения главных напряжений при объемной задаче (3-D) для различных режимов резания и они были сравнены с величиной главных напряжений, полученные с помощью формулы А.В. Бетанели для плоской задачи.

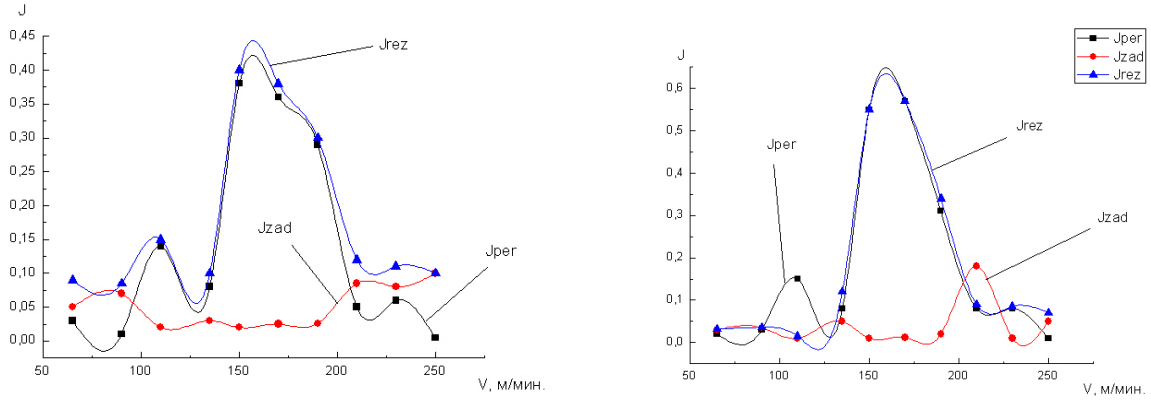
Исследование вероятности разрушения резцов из монокристалла алмаза при плоской 2-D и объемной 3-D задачах определения

напряжения рассчитывали согласно работам [4–6]. Кривые вероятности разрушения, вычисленные по формулам для плоской и объемной задачи, показаны на рис. 4.



а *б*

Рисунок 3 – Зависимости максимальной величины напряжений на передней *(а)* и задней *(б)* поверхности резца в зависимости от скорости резания при *t* = 20 мкм для плоской и объемной задач



а *б*

Рисунок 4 – Кривые изменения вероятности разрушения резца при изменении скорости резания для задачи определения максимальных напряжений при глубине резания *t* = 20 мкм: а – плоской; б – объемной

Проведя исследование можно сделать вывод, что максимальные напряжения, определенные с помощью МКЭ находятся на расстоянии $r = (1{,}3–1{,}5)c$ от края режущей кромки (по формуле А.В. Бетанели $r = 2c$). Максимальная вероятность разрушения (13%), зафиксирована при v = 110 м/мин. Это обусловлено возникновением растягивающих напряжений на передней поверхности резца. После корректировки формулы А.В. Бетанели разница между расчетами вероятностей, выполненных с учетом напряжений по скорректированной формуле и МКЭ составила 1–16%.

Литература

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

2. Девин Л.Н. Автоматизированная система для измерения сигнала акустической эмиссии в процессе прецизионного алмазного точения / Л.Н. Девин, Н.Е. Стахнив, А.Г. Сулима // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: матер. 11-го Международ. науч.-техн. семинара, 21–25 февраля 2011 г., г. Свалява. – К.: АТМ Украины, 2011. – С. 79–81.

3. Бруяка В. Инженерный анализ в Ansys Workbench: учеб. пособие / В. Бруяка. – Самара, 2010. – Ч. 1.

4. Хает Г.Л. Прочность режущего инструмента / Г.Л. Хает. – М.: Машиностроение, 1975. – 168 с.

5. Писаренко Г.С. Прочность материалов при высоких температурах / Г.С. Писаренко, В.Н. Руденко, Г.Н. Третьяченко. – К. : Наук. думка, 1966. – 791 с.

6. Девин Л.Н. Прогнозирование вероятности разрушения резцов на основе КНБ / Л.Н. Девин, М. Вильгельм // Сверхтв. матер. – 1992. – № 6. – С. 41–46.

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Антонюк. А.С.,
Рычев С.В., Нечипоренко В.Н. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0

Титановые сплавы широко используют в машиностроении и медицине для изготовления ответственных узлов механизмов. Это обусловлено высокими физико-механическими свойствами в сравнении с другими конструкционными материалами. Основные преимущества титановых сплавов – высокая удельная прочность, коррозионная стойкость в агрессивных средах, высокая температура плавления, низкий коэффициент температурного расширения, биологическая инертность [1].

Механическая обработка титановых сплавов сопровождается рядом трудностей, связанных с высоким уровнем вибраций, адгезией титана к материалу режущей части инструмента. Самая большая проблема – при увеличении температуры резания выше 600 градусов происходит взаимодействие титана с кислородом и азотом воз-

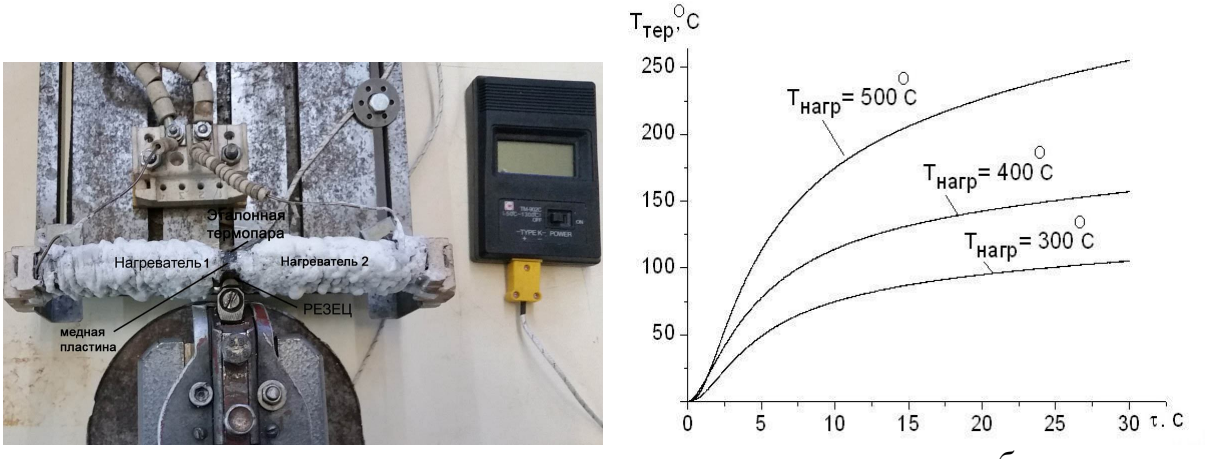
духа с образованием высокотвердых оксидов и нитридов титана. При этом повышается твердость поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, растут силы резания, а значит, увеличивается вероятность разрушения резца и появляются сколы его вершины [1]. Увеличение производительности обработки возможно при увеличении скорости резания, что приводит к росту температуры резания.

Таким образом, исследование обработки титановых сплавов в целях повышения работоспособности резцов из сверхтвердых материалов при точении – актуальна научно-техническая задача.

Для измерения температуры резания в резец была встроена хромель-алюмелевая термопара, контактирующая с режущей вставкой. Для градуировки резца со встроенной термопарой была изготовлена специальная конструкция, имитирующая нагрев зоны резания эталонной температурой через медную пластину с двумя нагревателями (рис. 1, *а*). Полученные графики зависимости показаний термопары $T_{тер}$ под режущей вставкой от температуры в вершине резца $T_{нагр}$ показаны на рис. 1, *б*.

Видно, что наиболее интенсивно изменение температуры под режущей пластиной происходит в первые 10 с после контакта вершины резца с нагревателем.

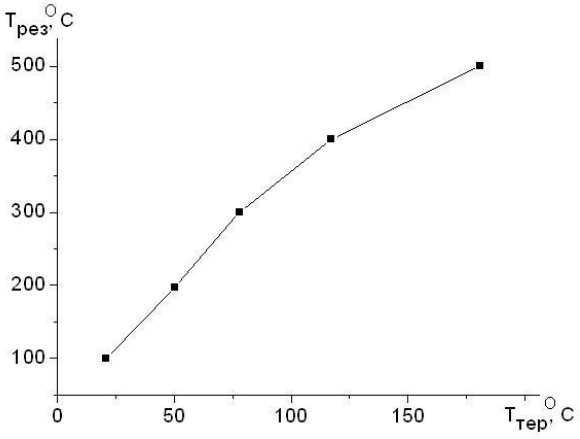
Для измерения температуры резания при точении титана использовали автоматизированную систему исследования процесса точения [2], показанную на рис. 2, *а*. Экспериментальные исследования по точению титанового сплава ВТ1-0 резцами с пластинками из АТП, изготовленные в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Испытания проводили без СОТС.



а *б*

Рисунок 1 – Имитация нагрева вершины резца в зоне резания (*а*) и показания термопары $T_{тер}$ при разных температурах в вершине резца $T_{нагр}$ в зависимости от времени контакта τ (*б*)

а



б

Рисунок 2 – Автоматизированная система исследования процессов точения (а) и градуировочный график изменения температуры в зоне резания $T_{рез}$ в зависимости от температуры термопары $T_{тер}$ через 10 секунд нагрева

Точение выполняли на высокоточном токарном станке ТПК-125ВМ с бесступенчатым регулированием скорости вращения шпинделя главного привода от 180 до 900 об/мин с постоянными подачами 0,05 мм/об и 0,1 мм/об и глубиной резания t = 0,1 мм.

В качестве инструмента использовали сборной проходной резец с углом в плане φ = 45°, оснащенный механически закрепленной пластинкой АТП на подложке из твердого сплава ВК15. Геометрия режущей кромки: передний угол 0°, задний угол – 10°.

Автоматизированная система измерения составляющих силы резания состояла из универсального динамометра УДМ–100 конструкции ВНИИИ (Россия) и разработанного нами тензоусилителя «Топаз», а также АЦП ADA 1406 фирмы «HOLIT DataSystems» и персонального компьютера [3]. Управление АЦП, регистрацию и предварительную обработку экспериментальных данных выполняли с помощью программы «PowerGraph» [3].

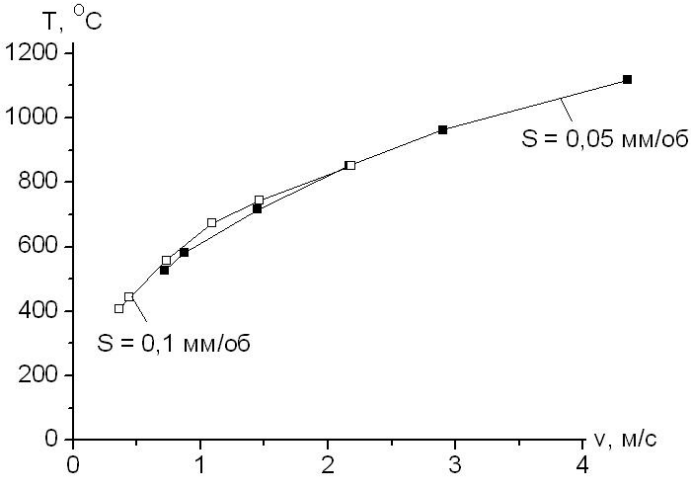


Рисунок 3 – График изменения температуры в зоне резания $T_{рез}$ в зависимости от скорости резания v и подачи S при точении титанового сплава ВТ1-0

Обработка экспериментальных данных (см. рис. 1, *б*) позволила производить измерение тем-

пературы в вершине резца через 10 секунд после начала процесса резания по формуле:

$$T_{\text{рез}} = \frac{-0.04 + \sqrt{0.04^2 - 4 \cdot 5.749 \cdot 10^{-4} \cdot (13.95 - T_{\text{ср}})}}{2 \cdot 5.749 \cdot 10^{-4}}.$$

На рис. 3 приведена зависимость, описывающая влияние скорости резания и подачи на температуру резания. Видно, что при данных режимах обработки не желательно использовать скорость резания больше 1 м/с, т.к. нагрев выше 600° приводит к резкому ухудшению обрабатываемости титановых сплавов.

Литература

1. Кривоухов В.А. Обработка резанием титановых сплавов / В.А. Кривоухов, В.Д. Чубаров. – М., Машиностроение, 1970. – 180 с.

2. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента / Л.Н. Девин. – Наук. думка, 1992. – 131 с.

3. Девин Л.Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // ПиКАД. – 2008. – № 3. – С. 24–26.

Добровольская Л., Куць Н., Собчук Д. Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ КЛАСТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Отличительная черта нестандартного ремонтного оборудования от технологического оборудования – узкая специализация. В идеальном случае количество оборудования для технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) должно быть равно количеству технологичных и транспортных машин, умноженному на количество технологических операций по ТО и Р.

С учетом того, что ежегодно в мире только автомобилей выпускается более 83 млн. штук, спроектировать такое количество ремонтного оборудования нереально и экономически нецелесообразно.

Отсутствие возможности обеспечить ремонтно-обслуживающие работы таких машин, как автомобили, тракторы, сельскохозяй-

ственные машины и другую аналогичную технику усугубляется следующими факторами:

- существующее оборудование для ТО и ремонта (гаражное оборудование) используется на 25–30%;
- значительная доля оригинальных деталей в конструкциях гаражного оборудования (ГО) привела к увеличению амортизационных отчислений и стоимости работ по ТО и Р;
- минимальная доля унифицированных и стандартных деталей в конструкциях ГО отрицательно влияет на ТО и Р самого гаражного оборудования.

Для обеспечения и повышения качества выполнения технологических операций по ТО и Р технологических и транспортных машин необходимо проектировать и конструировать оборудование на основе кластера, которое реализуется на следующих принципах:

- быстрое перенастраивание на выполнение различных технологических операций по ТО и РМ;
- предельно высокий уровень унификации и стандартизации элементов конструкции кластерного гаражного оборудования (ГО);
- высокий уровень механизации выполняемых работ по ТО и Р;
- минимальное потребление энергоносителей;
- функциональная структура сервисного кластера.

Проектирование ГО на кластерной основе позволит ремонтным предприятиям снизить расходы, увеличить использование новых технологии при выполнении технологических операций, обеспечит надежную послеоперационную диагностику машин, системный контроль за качеством исполняемых работ, обеспечит высококвалифицированными специалистами сервис.

Проектирование гаражного и нестандартного оборудования по модульному принципу и на кластерной основе, в первую очередь, обеспечит унификацию и стандартизацию деталей, сборочных единиц, блоков конструкций и изделий в целом. Унификация ГО заключается в приведении составных частей оборудования к единообразию, при этом предусматривается частичная, комплексная и опережающая унификация. Частичная унификация ГО предусматривает общность конструкций деталей и сборочных единиц на основе их общности по размерным и конструктивным параметрам. При этом, используется лишь часть конструкции ГО из возможных вариантов.

Наиболее оптимально для ГО, это использовать кластерную унификацию, которая приведет к единообразию деталей и создаст

структуру блоков сборочных единиц всех ранее созданных конструкций. Функциональные блоки такого кластера будут иметь как единое, так и разнообразное функциональное технологическое назначение. Модульный принцип проектирования ГО предусматривает набор окончательной конструкции из отдельных унифицированных модулей, а не проектирование отдельных единиц ГО для выполнения только одной технологической операции по ТО и Р.

Таким образом, ремонтная организация комплектуется кластером конструкционных модулей, из которых собирается требуемая конструкция гаражного оборудования. Модель конструкционного кластера для проектирования ГО по модульному принципу, позволяет упростить компоновку гаражного оборудования и улучшить сервис обслуживания машин

Литература

1. Гусев А.П. Анализ состояния технологической подготовки технического обслуживания и ремонта машин. Машиностроение и техносфера XXI века / А.П. Гусев, Н.Г. Куць // Сб. тр. XШ международ. науч.-техн. конф. – Донецк: Дон НТУ, 2006. – Т.1. – 282 с.

2. Иванов Е.В. О сущности и видах кластеров в экономике / Е.В. Иванов // Организатор производства – 2012 – №3 – С. 83–88.

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

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ И НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Составными элементами системы коллекторно-дренажной сети (КДС) являются:

- первичные (полевые) дрены;
- собиратели и коллекторы разного порядка;
- гидротехнические (сопрягающие, регулирующие и др.) сооружения;
- гидрометрические посты;
- насосные станции для перекачки дренажных вод;
- средства автоматики, телемеханики и связи;

• сооружения, построенные на пересечениях КДС с ирригационной, автодорожной и железнодорожной сетями;
• наблюдательная сеть режимных скважин и пьезометров;
• дорожная сеть.

Эксплуатация КДС включает:

• своевременный отвод избыточных минерализованных вод с орошаемых территорий;
• улучшение мелиоративного состояния засоленных и заболоченных земель, повышение технического уровня и совершенствование КДС;
• выполнение организационно-технических мероприятий по поддержанию ее в исправном состоянии;
• создание благоприятных условий для регулирования водного, солевого, температурного, питательного и воздушного режимов почвогрунтов с целью получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур при наиболее эффективном использовании водных и земельных ресурсов.

Фермеры-члены Ассоциации водопотребителей (АВП) совместно с инженерно-техническим персоналом АВП обязательно должны проводить мероприятия по **уходу** и устранению небольших повреждений:

• очищать русла коллекторов (дрен) от мусора и растительности, производить расчистку затворов и очищать трубчатые переезды и пролеты мостов с помощью багров, специальных захватов и т.д.;
• ликвидировать самовольно устраиваемые перемычки, расчищать русла коллекторов (дрен) в местах обрушения и оползней откосов;
• скашивать растительность около устьевых сооружений, гидротехнических сооружений и гидрометрических постов.

При обслуживании КДС для фермеров и служащих необходимо создавать подходы к гидротехническим сооружениям и гидрометрическим постам, они должны быть очищены, спланированы и подготовлены к пользованию ими. Нарезка временной оросительной сети в непосредственной близости к руслам открытой КДС запрещается. Допустимое расстояние от бровки траншей – не менее 10–15 м. На таком же расстоянии должны быть предусмотрены антифильтрационные мероприятия каналов при трубчатых пересечениях с коллекторами (дренами). Лесонасаждения и посадка кустарников в непосредственной близости к обеим сторонам русел КДС не допускается.

Гидротехники АВП должны осуществлять контроль за состоянием откосов коллекторов (дрен) в период вегетационных поливов.

Обнаружив оплывающиеся или обрушающиеся откосы, они обязаны принять соответствующие меры по снижению их интенсивности, т.е. уменьшить норму полива или прекратить их на прилегающих к деформируемым руслам коллекторов (дрен) территориях. При обнаружении подмывов, обрушившихся и значительных оползаний откосов, а также размывов за стенками сооружений опасное место следует оградить предупредительными знаками, а о случившемся сообщить руководству АВП для выяснения причин деформаций и их ликвидации.

Коллекторы должны быть оборудованы:

- гидрометрическими постами, позволяющими обеспечить учет дренажного стока, отведенного с территории АВП (рис. 1, 2);
- постоянными реперами, пикетажными, угловыми и километровыми знаками;
- устьевыми знаками – в местах впадения в них коллекторов более низкого порядка и дрен, которые убирают во время механизированной очистки и затем вновь восстанавливают;
- предупредительными знаками, предназначенными для предотвращения повреждений КДС и сооружений на ней. Знаки устанавливаются при пересечении КДС, дорог, вблизи населенных пунктов.

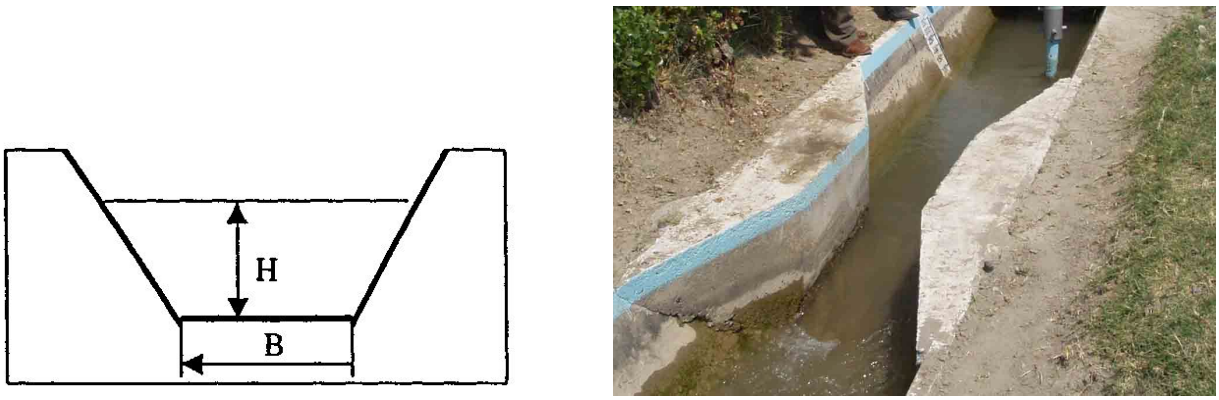


Рисунок 1 – Трапецеидальный водослив Чиполеттн

Землеводопользователям (членам и не членам АВП) категорически запрещается:

- устраивать самовольные переезды через открытую КДС в местах, не предусмотренных для этих целей;
- засорять, частично засыпать и ликвидировать открытые коллекторы и дрены, а также разрушать их сооружения;
- засеивать полосы отчуждения вдоль открытой КДС или использовать их в других целях;

• сбрасывать в КДС промышленные, бытовые и сточные воды, а также воду с орошаемых полей.

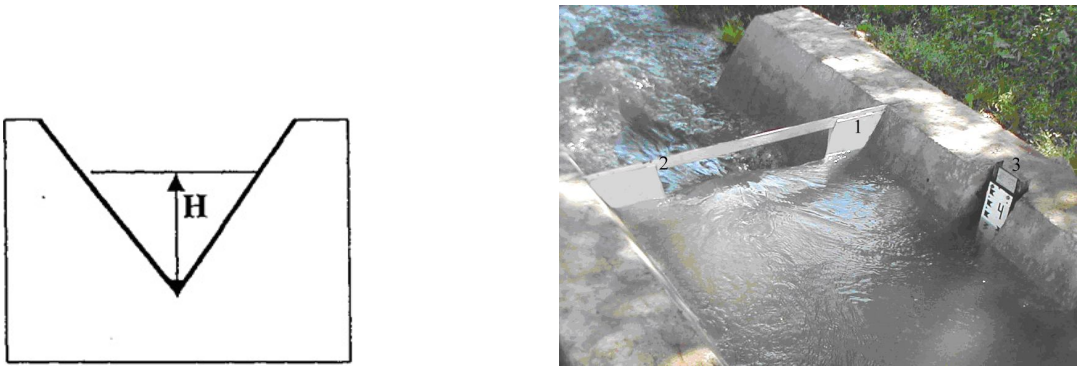


Рисунок 2 – Треугольный водослив Томсона

На каждую насосную установку должно быть назначено ответственное лицо за содержание и эксплуатацию энергетического и гидромеханического оборудования, гидротехнических сооружений и других устройств. При орошении насосными установками должны регулярно вестись журналы и другая документация по эксплуатации и ремонту основного и вспомогательного оборудования в соответствии и инструкцией. При эксплуатации насосных установок периодически производится очистка сороудерживающих решеток и промывка труб, а также ведется постоянный надзор за сохранностью и исправностью основного и вспомогательного оборудования. Ответственность за правильную эксплуатацию основного и вспомогательного оборудования возлагается на оператора насосной установки, который обязан обеспечить:

Своевременное проведение осмотров и ремонтов силового и насосного оборудования;

• контроль за соблюдением удельных норм расхода электроэнергии, топлива и смазочных масел;

• периодическую проверку заземления, релейной и противогрозовой защиты;

• проведение мероприятий по технике безопасности.

Перед началом поливного периода должны быть тщательно осмотрены двигатели и насосы. После приведения насосных установок в состояние готовности к пуску они должны быть опробованы. Работа насосных установок должна осуществляться в соответствии со следующими требованиями:

• выполнение плана подачи воды в установленные сроки, а для насосных установок, отводящих дренажных и сбросных вод – выполнение плана откачки этих вод;

- бесперебойность, надежность и экономичность работы насосных установок.

При установлении режима эксплуатации насосных установок необходимо учитывать:

- технические характеристики насосных агрегатов;
- месячные графики нагрузки насосных агрегатов;
- выполнения плана периодических и текущих ремонтов двигателей и насосов, электросетей, силовых трансформаторов и вспомогательного оборудования.

Длительная работа двигателей с превышением их номинальной мощности не разрешается. Кратковременные перегрузки двигателей допускаются в пределах, установленных инструкцией по эксплуатации силового и насосного оборудования. Все насосные установки должны постоянно поддерживаться в исправном состоянии и чистоте. На двигателях и насосах должны иметься прикрепленные металлические таблички с указанием на них паспортных данных. На корпусе насоса должно быть показано стрелкой направление вращения рабочего колеса. Корпусы электродвигателей и пусковых устройств должны быть заземлены [1].

Литература

1. www.icwc-aral.uz

Жук Г.В., В.А. Лебедев, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

ИМПУЛЬСНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ И РАЗВИТИИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Дуговая механизирована и автоматическая сварка с использованием электродных проволок сплошного сечения или порошковых электродных проволок в настоящее время один из основных способов получения неразъемного соединения материалов или выполнения восстановительной или упрочняющей наплавки [1].

Широкое распространение механизированной дуговой сварки и наплавки является основой для совершенствования известных и поис-

ка новых технико-технологических решений, направленных на улучшения качества сварных швов и наплавленных слоев, повышение производительности процессов, снижение энерго- и ресурсозатрат, улучшение условий работы эксплуатационников и обслуживающего персонала. Важным направлением является расширение областей и условий применения дугового механизированного оборудования.

Существует большое число технических разработок, технологических решений, материалов, средств защиты, активирующих паст, применяемых, как по отдельности, так и в комбинациях, которые позволяют решить задачи совершенствования и развития механизированного и автоматического сварочного оборудования. Всё это обобщено в табл. 1, где в качестве объекта рассматривается один из наиболее распространенных видов механизированного оборудования – полуавтомат для сварки и наплавки.

В табл. 1 не рассматриваются комбинированные решения, но они отмечаются в настоящем материале ниже. Важность указанных в табл. 1 направлений подтверждена многочисленными источниками, например [2], и связана с определенными затратами на реализацию в сварочном производстве, ремонте и восстановлении и, в итоге, обуславливается требованиями рынка. Рассмотрим подробнее представленные основные направления совершенствования механизированного оборудования и пути его дальнейшего развития. Следует отметить, что практически все направления, представленные в табл. 1, в той или иной степени используются, часть из них находится в исследовательской и конструкторско-технологической работе.

В настоящей работе представлены, в том числе, направления связанные с технико-технологическими решениями, основанными на вибрационном воздействии на расплав сварочной ванны посредством механических импульсов, генерируемых системами сварочного оборудования. Такой выбор связан с эффектами, оказываемыми вибрацией на структуру и свойства металла сварного соединения и наплавленного валика [3]. По нашему мнению, применяемые в конструкциях технические решения с использованием управляемых импульсных алгоритмов работы являются основным направлением и неисчерпаемым резервом развития сварочно-наплавочных полуавтоматов и автоматов.

Необходимо уточнить, что импульсы, генерируемые источниками сварочного тока, также оказывают вибрационное воздействие на металл сварочной ванны вследствие электродинамического воздействия, в частности, при импульсах управления переносом электродного

металла. Различные варианты алгоритмов работы источников инверторного типа современных конструкций уже широко используются при работе сварочного оборудования и описаны, например в [4]. В святи с большим объемом информации по механизированному и автоматическому оборудования с современными источниками, реализующими синергетическое управление переносом электродного металла, в настоящей работе это направление не рассматривается.

Таблица 1 – Направления развития

Импульсные воздействия на перенос электродного металла, оказываемые изменением скорости истечения защитного газа, описанные в [5], также не анализируются из-за сложностей управления таким процессом и некоторой ограниченностью применения, обусловленной все более широким использованием самозащитных порошковых электродных проволок.

Механические импульсные воздействия, управляющие переносом электродного металла, оказывают вибрирующее влияние на расплав ванны посредством прямого действия. Упомянутые электродинамические усилия от импульсов тока как следствий импульсов подачи электродной проволоки с высокой скоростью перемещения в импульсе, а соответственно достаточно высокими значениями токов также вибрируют сварочную ванну.

Импульсная подача электродной проволоки, ее возможности и пути дальнейшего совершенствования и применения является основной темой настоящей работы.

Исследования и разработки в области технико-технологических решений по импульсной подаче ведутся достаточно давно [6] и ограниченно применялись при сварке сталей или сплавов алюминия. Однако оборудование с использованием полученных результатов широкого распространения не получило. Основная причина – отсутствие эффективных средств получения управляемой импульсной подачи электродной проволоки, в частности, при технологиях сварки и наплавки на основе порошковых электродных проволок.

В настоящее время появились технические средства способные обеспечить импульсное движение электродной проволоки с управляемыми параметрами (частота, скважность, скорость в импульсе, форма), обеспечивающими эффективное управление переносом электродного металла, а, следовательно, качественными и количественными характеристиками дугового процесса (качество шва, наплавленного слоя, товарный вид, энерго- и ресурсосбережение, расширение областей применения и др.).

Новые разработки и конструкторские решения базаруются на современных достижениях техники регулируемых быстродействующих электроприводов постоянного тока бесколлекторного типа. Для решения всего комплекса сварочно-наплавочных задач выбрано два направления технической реализации компьютеризованной системы подачи электродной проволоки с импульсными алгоритмами функционирования – на основе шаговых электродвигателей и с применением вентильных электродвигателей. В настоящее время основные разработки базируются на применении компьютеризованных безредукторных электродвигателей вентильного типа, специально разработанных для применения в сварочно-наплавочных автоматах и полуавтоматах [7]. На рис. 1 представлен базовый вариант механизма подачи на основе вентильного электропривода с возможностью выполнения в управляемом режиме сложного алгоритма движения, в том числе с реверсом подачи проволоки в импульсе. Формализованные эпюры скорости подачи электродной проволоки представлены на рис. 2. Следует заметить, что в разработанной системе подачи возможно получение частот до 60 Гц.

Применение рассматриваемой системы подачи позволило получить управляемый перенос электродного при сварке сплошной электродной проволокой в CO_2 при сварке и наплавке с короткими

замыканиями дугового промежутка, когда каждому импульсу подачи с определёнными параметрами движения соответствует перенос капли. На рис. 3 представлены характерные осциллограммы скорости подачи и напряжения дугового процесса.

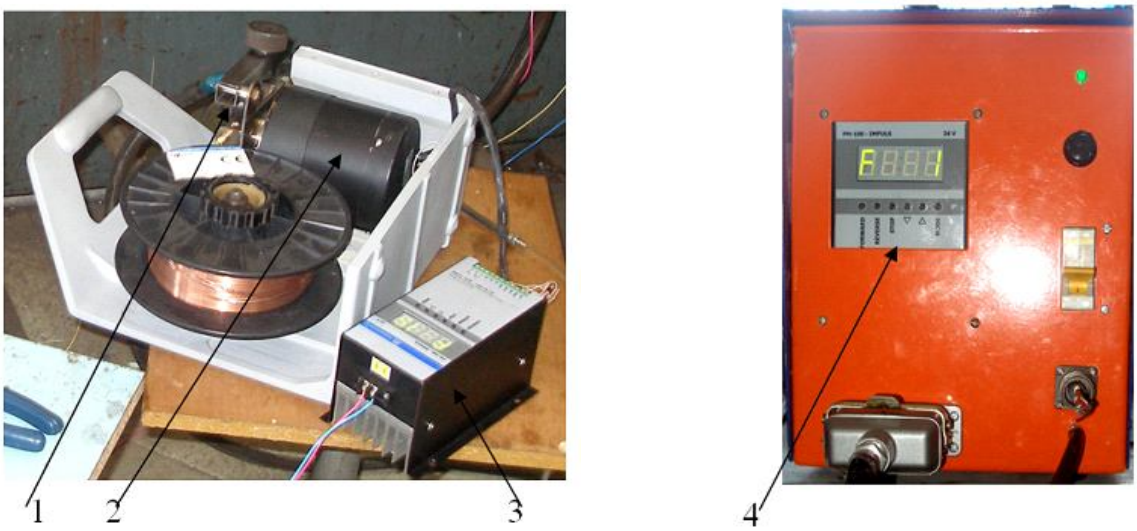


Рисунок 1 – Механизм импульсной подачи на основе компьютеризованного вентильного электропривода: *1* – подающий ролик с механизмом прижима; *2* – электродвигатель; *3* – регулятор электропривода; *4* – регулятор, вмонтированный в блок управления полуавтомата

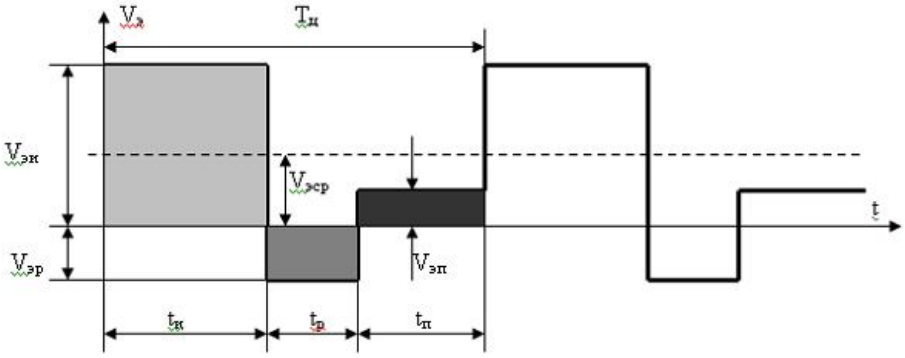


Рисунок 2 – Формализованные эпюры скоростей подачи проволоки $V_э$, $V_{эи}$, $V_{эп}$, $V_{эр}$ – скорости в импульсе, паузе и реверсе соответственно; $t_и$, $t_р$, $t_п$ – времена импульса, паузы и реверса соответственно; $V_{эср}$- средняя скорость

Основными результатами применения импульсной подачи механизмом с вентильным электроприводом с управляемыми параметрами являются: – возможность подачи электродных проволок практически всех известных типов и материалов; – снижение энерго и ресурсозатрат; – упрощение техники сварки в положениях отличных от нижнего; – улучшение структуры металла шва и наплавленного слоя с повышением эксплуатационных свойств изделия – управление геометрическими размерами наплавленного валика, проплавлением и

зоной термического влияния; – уменьшение выбросов вредных аэрозолей в окружающую среду.

Вибрационные колебания расплава при действии импульсов подачи ведут к измельчению зерна металла ванны и как следствие – улучшению структуры металла шва и наплавленного слоя, что можно видеть на сравниваемых микрошлифах рис. 4.

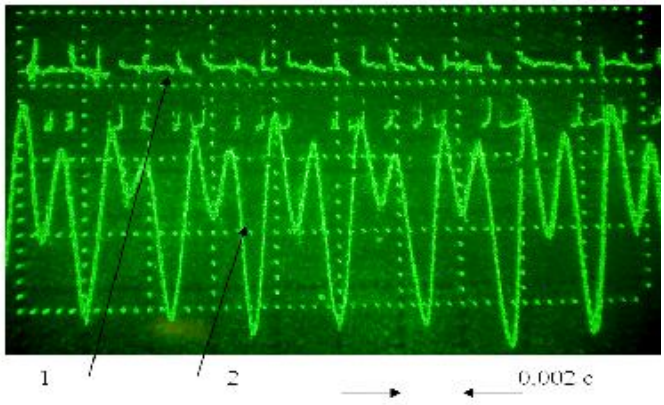
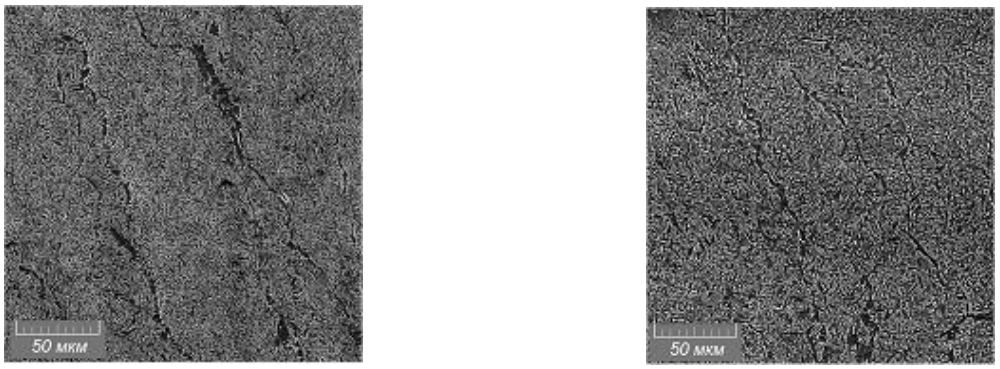


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжения (*1*) и скорости подачи (*2*)



а *б*

Рисунок 4 – Микроструктура наплавленного металла 30ХГСА, данные электронной микроскопии ×1000:
а – при обычной подаче; *б* – при импульсной подаче

Можно привести несколько количественных соотношений характерных для сварки и наплавки с управляемой импульсной подачей электродной проволоки, а именно: снижение затрат электроэнергии на 10–20%; уменьшение в 3–4 раза потерь электродного метала на разбрызгивание; изменение ширины наплавленного валика и проплавления 1,2–1,5 раза.

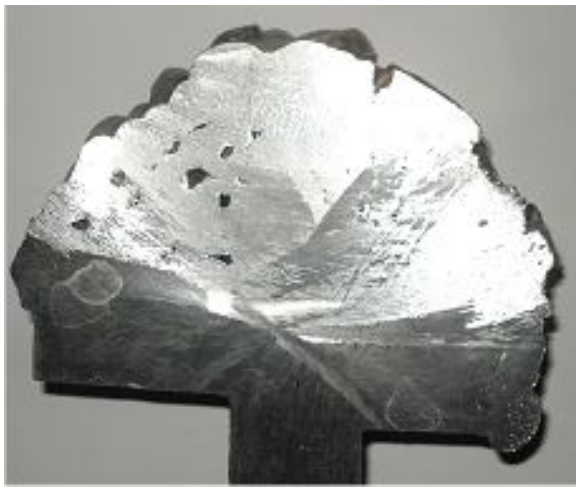


Рисунок 5 – Валики, наплавленные с применением способов подачи: слева – конвенциальная; справа – импульсная

Применение процессов сварки и наплавки дуговым механизированным оборудованием с управляемой импульсной подачей электродной проволоки рас-

смотрено в [7]. Приведем примеры эффективного применения рассматриваемого способа сварки-наплавки. Процесс обеспечивает качественную бездефектную сварку конструкций из алюминиевых сплавов, даже при многопроходном соединении. Пример такого соединения показан на экспериментальном образце, представленном на рис. 5, где даже без шлифования образца видно существенное снижение дефектов в виде несплавлений и интерметаллических включений при применении импульсной подачи даже с частично регулируемыми параметрами.

Эффективно решаются задачи постановки точки в разных пространственных положениях, различных металлов и сочетаний их толщин с выбором параметров изменяющихся параметров сварки и выбором времени получения качественного точечного сварного соединения. В этом случае часто возникает необходимость использования импульсной подачи. Импульсная подача с управляемыми параметрами необходима для получения качественного сварного соединения практически в любом пространственном положении. На рис. 6 представлены результаты дуговой точечной сварки на вертикальной плоскости. Следует отметить, применение импульсной подачи электродной проволоки исключает стекание расплавленного металла и обеспечивает достаточно близкие к одинаковому виду качественные формирования точечного соединения [8].

Рисунок 6 – Дуговые точки на вертикальной плоскости: 1 – обычный способ; 2 – с импульсной подачей

Имеется опыт применения безредукторных бесколлекторных компьютеризованных электроприводов в механизированном оборудовании для подводной сварки мокрым способом, при этом программное управление скоростью подачи электродной проволоки, в том числе с импульсными алгоритмами функционирования позволяет решать сложные задачи сварки и наплавки в потолочном положении и на вертикальной плоскости.

В последнее время на основе способа сварки с импульсной подачей электродной проволоки предложен и развивается новый способ сварки наплавки с дозированной подачей электродной проволоки [9]. Его ос-

новной особенностью является использование систем обратных связей по параметрам дугового процесса – току или напряжения или их совместных действий. Именно по регулируемым уровням этих обратных связей формируются импульсы подачи электродной проволоки с заранее установленной скоростью движения.

На рис. 7 представлен алгоритм управления подачей электродной проволоки при действии обратных связей по току дугового процесса. Необходимо отметить, что такой способ управления подачей, в отличие от ранее описанного, существенно более прост в установлении параметров импульсной подачи, а технически может быть реализован на основе комплекса с компьютеризованным вентильным электроприводом.

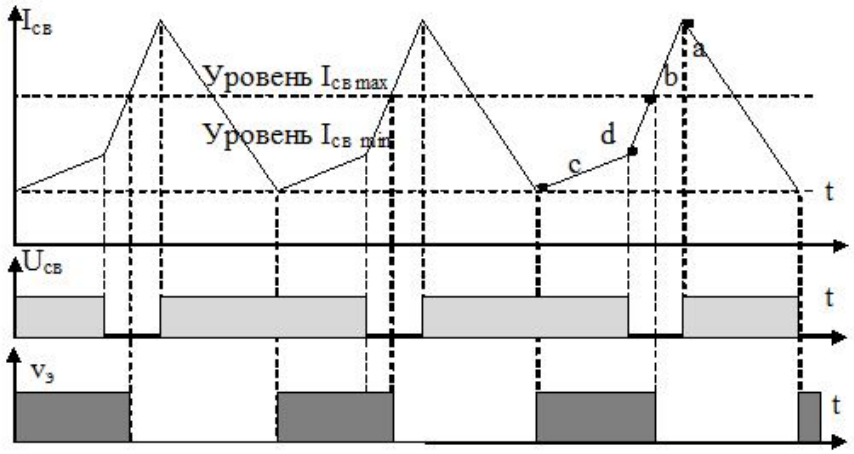


Рисунок 7 – Алгоритм работы системы управления переносом электродного металла связанный с параметрами тока дугового процесса:
$I_{св}$ – ток сварки; $U_{св}$ – напряжение сварки; $v_э$ – скорость подачи электродной проволоки; *a* – переход капли в ванну; *b* – пауза в скорости подачи; *c* – пуск подачи; *d* – короткое замыкание

Рассмотрим примеры применения способа сварки с дозированной подачей электродной проволоки.Прежде всего отметим, что новый способ позволяет получить управляемый перенос электродного металла как с короткими замыканиями так и без них, что можно видеть на характерних осциллограммах рис. 8, где представлен процесс наплавки с применением порошковой электродной проволоки. Очевидно, что новый способ сварки обеспечивает процесс с короткими замыканиями дугового промежутка, что ранее было практически невозможно.

Прежде всего отметим, что новый способ позволяет получить управляемый перенос электродного металла как с короткими замыканиями так и без них, что можно видеть на характерних осциллог-

раммах рис. 8, где представлен процесс наплавки с применением порошковой электродной проволоки. Очевидно, что новый способ сварки обеспечивает процесс с короткими замыканиями дугового промежутка, что ранее было практически невозможно.

Для рассматриваемого процесса с дозированной подачей характерны практически те же технологические эффекты, но, кроме этого, более существенны появляющиеся возможности для сварки и наплавки в различных пространственных положениях как стали так и сплавов алюминия. На рис. 9 представлены сравнительные результаты сварки- наплавки стали горизонтальных валиков на вертикальной плоскости – одного из наиболее сложных на высокопроизводительных режимах для порошковой самозащитной проволоки диаметром 1,6 мм (200–230 А, скорость сварки 10–12 м/час).

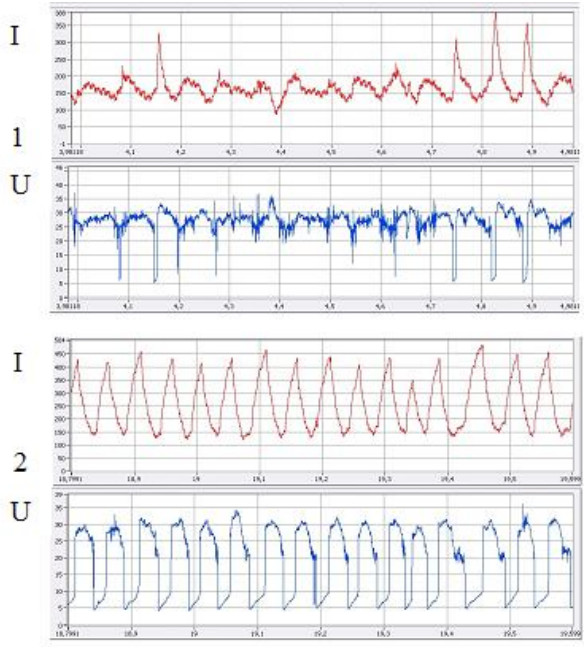


Рисунок 8 – Осциллограммы тока и напряжения:
1 – обычный процесс;
2 – новый процесс с дозированной подачей электродной проволоки

Рисунок 9 – Валики наплавленные на вертикальной плоскости с подачей электродной проволоки:
1–4 – дозированная с короткими замыканиями; *10* – без коротких замыкания; *5–9* – конвенциальная

Значительный технологический эффект можно получить и при сварке-наплавке в потолочном положении, где, используя процесс сварки с дозированной подачей возможно формирование валиков товарного вида. На рис. 10 представлены сравнительные результаты наплавки с теми же параметрами, что и при сварке на верти-

кальной плоскости. Очевидны возможности сварки – наплавки с дозированной подачей электродной проволоки.

Новый способ сварки с дозированной подачей электродной проволоки в полной мере можно отнести к синергетическому управлению технологическим процессом.

Отметим ещё одну возможность применения сварки с дозированной подачей электродной проволоки. Это сварка тонколистовых металлоконструкций. На рис. 11 представлены результаты сварки алюминиевых пластин толщиной 0,9 мм электродной проволокой АМг5 диаметром 1,0 мм.

Рисунок 10 – Валики наплавленные в потолочном положении с подачей электродной проволоки: *1*, *3* – дозированная с короткими замыканиями; *10* – без коротких замыкания; *2*, *4* – конвенциальная

Рисунок 11 – Фрагменты валиков на тонколистовых металлоконструкциях, наплавленных автоматом (*1*) и полуавтоматом (*2*)

Направления, связанные с применением механизмом подачи с импульсной подачей электродной, а в последнее время и присадочной проволоки постоянно развиваются и есть все основания предполагать, что в ближайшие годы механизированная и автоматическая сварка с импульсной подачей электродной проволоки, в частности с разными алгоритмами управления займет достойное место в сварочном производстве сталей и сплавов алюминия. Несомненно, будут модернизироваться существующие конструкции полуавтоматов разного назначения с установкой в них импульсных механизмов подачи.

В новых конструкциях полуавтоматов для сварки и наплавки с применением импульсной и дозированной подачи следует учесть возможность наиболее эффективного применения новых способов реализации дуговых процессов путём разработки конструкций с приближением механизма подачи к месту сварки (ранцевые полуавтоматы, полуавтоматы с промежуточным механизмом дозированной подачи).

Важнейшей задачей, направленной на совершенствование технических средств и технологии сварки и наплавки, является применение комбинированных решений, например создание комплекса для механизированных дуговых процессов с одновременным использованием источников сварочного тока и механизмов подачи с импульсными алгоритмами работы, работающие по определённым циклам воздействия на перенос электродного металла.

Литература

1. Шалимов М.П. Сварка вчера, сегодня, завтра. (введение в специальность) : уч. пособие / М.П. Шалимов, В.И. Панов. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2006. – 226 с.

2. Лебедев В.А. Современное механизированное оборудование для сварки и наплавки и его технико-технологические возможности / В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов. – Киев: Основа, 2012. – С. 392.

3. Славин Г.А. Формирование дезориентированной структуры металла шва при наложении низкочастотных возмущений на сварочную ванну / Г.А. Славин // Сварочное производство. – 1980. – № 6. – С. 3–5.

4. Миронов С. Инверторные источники питания для дуговой сварки / С. Миронов // Сварочное производство. – 2003. – № 4. – С. 41–43.

5. Новиков О.М. Дуговая сварка с импульсной подачей защитных газов / О. М. Новиков, О.Е. Островский и др. // Сварочное производство. – 1992. – № 10. – С. 9–10.

6. Лебедев В.А. Системы подачи электродной проволоки механизированного оборудования для сварки и наплавки / В.А. Лебедев, Д.В. Плющ. – Киев: Основа, 2013. – 432 с.

7. Лебедев В.А. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки / В.А. Лебедев, М.В. Гулый // Мехатроника. Автоматизация, Управление. – 2014. – № 6. – С. 47–51.

8. Лобанов Л.М. Новые возможности механизированной дуговой точечной сварки с применением импульсных воздействий / Л.М. Лобанов, В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов и др. // Автоматическая сварка. –2012. – № 5. – С. 17–21.

9. Жук Г.В. Автоматизированная и механизированная сварка и наплавка с управляемой дозированной подачей электродной проволоки / Г.В. Жук, В.А. Лебедев // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. 17-ой международ. науч.-техн. конф., 29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса. – Киев: АТМ Украины, 2017. – С. 249–251.

*Ивашко В.*С**.** Белорусский национальный
технический университет, Минск, Беларусь

РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Исходными данными для разработки технологического процесса являются:

- рабочий чертёж детали с технологическими требованиями на её изготовление;
- производственная программа;
- карта технологических требований на дефектацию детали;
- каталоги и справочники по используемому оборудованию и технологической оснастке.

Анализ условий работы детали. Детали поступают на восстановление с различными повреждениями в результате действия разных видов нагрузок и изнашивания, окружающей среды и времени. Некоторые из повреждений обусловливают предельное состояние детали. Знание природы достижения деталями этого состояния позволяет обоснованно назначать мероприятия по повышению их долговечности и проектировать процессы их восстановления.

Технические условия на контроль-сортировку приводятся в карте технических требований на дефектацию детали.

Маршрут восстановления детали выполняется в следующей последовательности: правка детали, подготовка детали к нанесению покрытия, нанесение покрытий с температурным воздействием, предварительная механическая обработка, нанесение покрытий без температурных воздействий, окончательная механическая обработка, контроль параметров готовой детали. Процесс нанесения покрытия включает в себя три группы операций: подготовка деталей, нанесение покрытия, обработка покрытия детали.

Подготовка включает механическую обработку: чистовое растачивание с целью исправления геометрических параметров изношенной поверхности. Нанесение покрытия осуществляется наплавкой, газотермическим напылением.

При составлении технологического маршрута необходимо учитывать следующие требования:

- одноимённые операции по всем дефектам маршрута должны быть объединены;

• каждая последующая операция должна обеспечить сохранность качества работы поверхностей детали, достигнутую при предыдущих операциях;

• вначале должны идти подготовительные операции, затем восстановительные, кузнечные, предварительные слесарно-механические, нанесение покрытий с использованием тепловложений, точение, шлифовальные, доводочные, контрольные.

Таблица 1 – Геометрические модули некоторых деталей, виды нагрузок и повреждений, восстанавливаемые показатели

Элементы (геометрические модули)		Разрушающие факторы	Повреждения	Показатели	
наименование	детали			геометрические параметры	эксплуатационные свойства
1	2	3	4	5	6
стенки	корпусные детали	удары, гидростатическое давление, вибрации	пробоины, трещины	—	статическая прочность, герметичность
поверхности цилиндрические, внутренние	корпусные детали, подшипники скольжения	силы трения, химически активная среда	деформации износ	цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	износостойкость
поверхности отверстий под подшипники качения	корпусные детали, валы	радиальные силы, переменные по величине и направлению	деформации, износ	цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	
поверхности отверстий под подшипники скольжения	корпусные детали, шатуны, коромысла	радиальные силы, переменные по величине и направлению	деформации, износ	цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	
шейки трущиеся, вращающиеся	валы, оси, пальцы	моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	износ, усталостные трещины	цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	износостойкость, усталостная прочность
кулачки, эксцентрики	валы	радиальные силы	износ	форма, размеры, шероховатость	износостойкость

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
торцы трущиеся, плоские	валы	осевые силы	износ	плоскостность, размеры, шероховатость	износостойкость
отверстия центральные	зубчатые колеса, звездочки, шкивы	поперечные силы, переменные по величине и направлению	деформации, износ	цилиндричность, диаметр, расположение, шероховатость	
торцы трущиеся, сферические	толкатели	осевые силы	износ	форма, размеры, шероховатость	
наружные цилиндрические поверхности, движущиеся поступательно	поршни, плунжеры, штоки	силы трения, химически активная среда	износ	цилиндричность, размеры, расположение, шероховатость-	
центрирующие пояски	гильзы цилиндров	радиальные силы	деформации	форма, размеры, шероховатость	—
канавки под клиновые ремни	шкивы	силы трения	износ, деформации	цилиндричность, размеры, шероховатость	износостойкость
бойки коромысел	коромысла	осевые силы, переменные по величине	износ, наклеп	форма, размеры, шероховатость	
конические тарелки	клапаны	осевые переменные силы	износ, наклеп	форма, размеры, шероховатость	

Значения некоторых коэффициентов повторяемости дефектов приведены в табл. 2.

При составлении плана операций для каждого маршрута первоначально необходимо выделить наиболее ответственные (точные) поверхности, а также дефекты, требующие многократной обработки для их устранения. Затем для устранения каждого дефекта, входящего в маршрут, намечают состав и последовательность выполнения технологических операций.

На основании последовательности выполнения операций по устранению каждого в отдельности дефекта составляется план операций для отдельного маршрута (сочетание дефектов) путем выявления операций, которые можно совместить, и поверхностей, которые можно обработать совместно.

Таблица 2 – Значения коэффициентов повторяемости дефектов типовых поверхностей ремонтопригодных деталей автомобилей

Наименование типовых поверхностей и их дефектов	Значения коэффициентов повторяемости дефектов
Трещины, обломы	0,15–0,25
Изгиб, деформация	0,35–0,55
Наружная цилиндрическая неподвижная за счет трения	0,30–0,50
Наружная цилиндрическая неподвижная за счет вспомогательных деталей	0,20–0,35
Наружная цилиндрическая с возвратно-поступательным скольжением	0,35–0,55
Наружная цилиндрическая с вращательным скольжением	0,30–0,40
Наружная цилиндрическая с возвратно-вращательным скольжением	0,30–0,45
Наружная цилиндрическая с возвратно-вращательным скольжением	0,30–0,40
Внутренняя цилиндрическая неподвижная за счет трения	0,35–0,90
Внутренняя цилиндрическая неподвижная за счет вспомогательных деталей	0,20–0,50
Внутренняя цилиндрическая с возвратно-поступательным скольжением	0,20–0,40
Внутренняя цилиндрическая с вращательным скольжением	0,25–0,35
Внутренняя цилиндрическая с возвратно-вращательным скольжением	0,20–0,40
Резьбовая наружная	0,30–0,60
Резьбовая внутренняя	0,12–0,20
Шлицевая наружная (прямобочный профиль)	0,30–0,60
Шлицевая внутренняя (прямобочный профиль)	0,25–0,45
Зубчатая наружная	0,50–0,90
Зубчатая внутренняя	0,15–0,20
Шпоночный паз наружный	0,20–0,50
Шпоночный паз внутренний	0,20–0,35
Канавка наружная	0,05–0,15
Канавка внутренняя	
Коническая наружная	0,10–0,15
Коническая внутренняя	
Сферическая наружная	
Сферическая внутренняя	
Профильная	
Фасонная	
Плоская с поступательным скольжением	
Плоская с вращательным скольжением	
Торцевая	0,05–0,10
Лыска наружная	0,15–0,20
Лыска внутренняя	0,10–0,15

Технологические операции каждого маршрута располагают одна за другой в наиболее рациональной последовательности из условий выполнения требований ремонтного чертежа наиболее экономичным способом. Операции должны располагаться в такой последовательности, которая обеспечивает требования чертежа, минимальную трудоемкость, исключение брака, сохранность оборудования, стойкость инструмента и т. д.

При составлении плана технологических операций маршрута можно исходить из таких основных положений:

- тепловые операции (кузнечные, сварочные, наплавочные и т. д.) выполняются в первую очередь, т. к. при этом вследствии остаточных внутренних напряжений возникает деформация деталей;
- операции, при выполнении которых производится съем метала большой толщины, также планируется в числе первых, т. к. при этом выявляются возможные внутренние дефекты и происходит перераспределение внутренних напряжений, что сопровождается деформациями деталей;
- механическую обработку необходимо начинать с исправления базовых поверхностей, а при использовании в качестве установочных баз работавших поверхностей необходимо ориентироваться на изношенные участки;
- в первую очередь необходимо обработать ту поверхность, относительно которой на чертеже координировано большее количество других поверхностей;
- в числе последующих операций назначают механические (слесарные) и окончательную обработку сначала менее точных поверхностей, а затем более точных;
- если при восстановлении детали применяется термическая обработка, то операции выполняются в такой последовательности: черновая механическая, термическая, чистовая механическая;
- не рекомендуется совмещать черновые и чистовые операции, т.к. они выполняются с различной точностью;
- в последнюю очередь выполняются чистовые операции;
- заканчивают обработку детали обработкой наиболее точной поверхности;
- последними в маршруте часто назначают обработку легко повреждаемых поверхностей (резьба и т. п.).

*Ивашко В.*С**.** Белорусский национальный
технический университет, Минск, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АВТОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В зависимости от структурной принадлежности, объемов производства, видов ремонтируемых объектов, производственных возможностей и сложности выполняемых работ ремонтное производство существует в виде:

- участков текущего ремонта техники ремонтных предприятий;
- универсальных или специализированных мастерских текущего и капитального ремонта;
- станций технического обслуживания и текущего ремонта;
- технических центров автомобилестроительных заводов по техническому обслуживанию и ремонту своей продукции;
- заводов по капитальному ремонту автомобилей и их агрегатов.

В последнее время в связи с повышением надежности техники капитальный ремонт автомобилей, как правило, не проводится. При пробеге автомобиля 75% от пробега до капитального ремонта, как правило, проводится регламентированный ремонт, выполняемый с периодичностью, установленной кодексом, независимо от технического состояния автомобиля в момент начала ремонта. Нормативы, регламентирующие ремонт, корректируются с помощью коэффициентов, в зависимости от: условий эксплуатации; модификации автомобиля и организации его работы; природно-климатических условий; пробега с начала эксплуатации; количества машин, обслуживаемых и ремонтируемых в организации, и количества групп автомобилей технологически совместимых; периода их эксплуатации. Исходя из данной концепции в настоящее время являются востребованными ремонтные предприятия по восстановлению отдельных агрегатов транспортного средства (топливная система, генераторы, КПП и др.).

Разработка технологической части проекта авторемонтных предприятий выполняется в следующем порядке:

- обоснование назначения предприятия и его годовой программы по всей номенклатуре ремонтируемых изделий или восстанавливаемых деталей;
- обоснование и установление организационной и производственной структуры предприятия;

- разработка и краткое описание технологического процесса, в котором приводятся принципиальные технические решения, основные положения по механизации и автоматизации производственных процессов и обосновывается выбор типажа основного технологического оборудования;
- установление режима работы и расчёт годовых фондов времени рабочих, рабочих постов и оборудования;
- обоснование и расчёт трудоёмкости ремонтируемых изделий;
- расчёт годового объёма работ и программы производственных участков в физических параметрах (по массе или площади поверхностей ремонтируемых изделий);
- определение состава работающих, их расчёт по категориям и составление ведомости работающих;
- расчёт и подбор необходимого количества технологического и подъёмно-транспортного оборудования для цехов и участков основного и вспомогательного производства;
- расчёт площадей производственных, складских и административно-бытовых помещений;
- определение потребности производственных цехов и участков в энергоресурсах;
- общая компоновка предприятия и принципиальная схема организации производства;
- разработка схемы генерального плана АРП;
- укрупнённый расчёт стоимости предприятия;
- определение технико-экономических показателей авторемонтного предприятия.

Основные исходные данные для технологического расчёта:

- годовая программа в номенклатурном и количественном выражении ремонтируемых объектов;
- режим работы предприятия;
- расчётные нормативы (трудоёмкость ремонта заданных изделий).

Технологический расчёт цехов и участков предприятий авторемонтных предприятий, выполняют по материалам разработанных технологических процессов.

Технологические процессы разрабатываются укрупнённо с указанием только операций и оформляются в виде маршрутных или операционных карт, в которых указываются нормы времени на выполнение операций, применяемое оборудование, приспособления и инструменты.

Нормы времени по отдельным операциям определяются расчётным путём. Необходимый типаж и количество оборудования устанавливаются на стадии разработки технологического процесса.

Таблица 1 – Технологические виды работ авторемонтного предприятия и их содержание

Наименование работ	Содержание работ
Разборочно-моечные	Диагностирование агрегатов, наружная очистка составных частей, разборка их на агрегаты, подразборка, очистка подразобранных агрегатов, разборка агрегатов на сборочные единицы очистка сборочных единиц, разборка сборочных единиц, очистка деталей
Дефектация и комплектация	Определение технического состояния и сортировка деталей
Восстановления деталей	Сварочные, наплавочные, нанесение электрохимических покрытий, переработка резины и пластмасс, механические, слесарные, кузнечные, термические, прессовые, восстановление отдельных деталей (корпусных, валов и др.) или их групп
Медницкие	Ремонт водяных и масляных радиаторов, топливных баков, масляных фильтров, трубопроводов, упорных шайб, втулок и др.
Термические	Термическая и химико-термическая обработка заготовок
Электроремонтные	Проверка и ремонт электродвигателей, стартеров, генераторов и реле-регуляторов, ремонт фар, электропроводки, приборов (в т.ч. электронных), текущий ремонт и зарядка аккумуляторных батарей
Ремонт топливной аппаратуры	Ремонт подкачивающих топливных насосов, карбюраторов, инжекторов, топливных насосов высокого давления и форсунок
Слесарно-механические	Подбор деталей и подгонка сопрягаемых поверхностей, станочные работы на металлорежущем оборудовании, изготовление деталей
Ремонта агрегатов	Работы по ремонту отдельных агрегатов
Окрасочные	Подготовка поверхностей, нанесение и сушка лакокрасочных покрытий
Комплектовочно-сборочные	Накопление деталей, образование и хранение сборочных комплектов деталей, узловая и общая сборка агрегатов и автомобилей
Обкаточно-испытательные	Заправка топливом и маслом, обкатка, испытания, послеремонтное диагностирование, устранение неисправностей, консервация и сдача агрегатов и автомобилей

Структура предприятия и методы организации технологического процесса ремонта. В состав авторемонтного предприятия входит основное и вспомогательное производство, энергетическое, транспортное и складское хозяйства и заводоуправление.

В зависимости от назначения, мощности и специализации авторемонтного предприятия его производственная структура будет изменяться, при этом отдельные производственные участки могут объединяться или исключаться.

Объединение производственных участков и складов производится с учётом технологической взаимосвязи с соблюдением требований охраны труда и противопожарных норм. Работы, выполняемые в процессе технологического процесса на авторемонтном предприятии, и их содержание представлены в табл. 1.

Обоснование режима работы и расчёт годовых фондов времени рабочих, оборудования и рабочих постов. Исходя из принятого режима работы предприятия, определяют фонды времени рабочих, оборудования и рабочих постов. Различают номинальный и действительный фонды времени рабочих.

Действительный фонд времени учитывает фактически отрабатываемое рабочим время в часах в течение года с учетом отпуска и потерь по уважительным причинам (выполнение государственных обязанностей, болезней и т. п.).

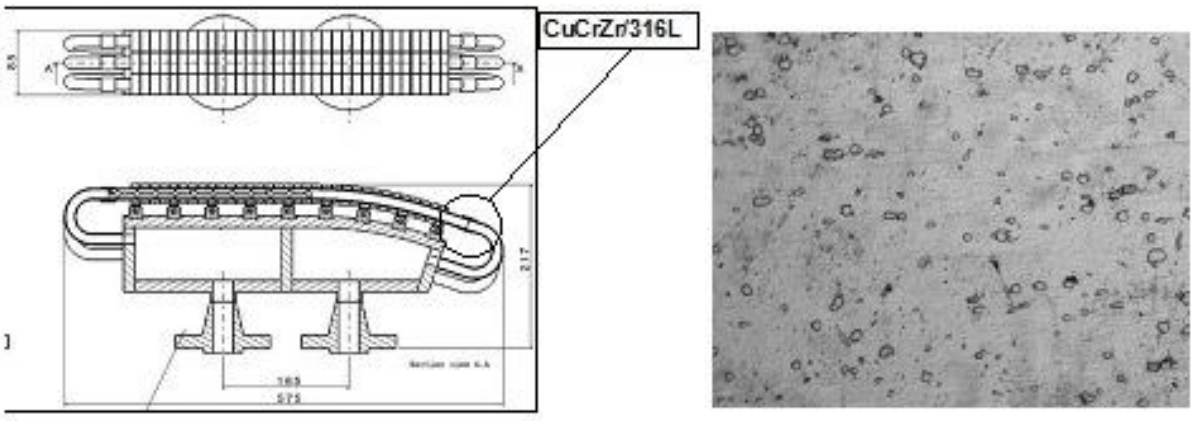
Зяхор И.В. Институт электросварки
им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНИКИ СТАЛЬ 316L – МЕДНЫЙ СПЛАВ CuCrZr ДЛЯ ПРОЕКТА ITER

При проектировании конструкции Vertical Target Qualification Prototype (VTQP) для Международного экспериментального термоядерного реактора (ITER), возникла необходимость разработки технололгии неразъемного соединения трубчатых элементов из дисперсионноупрочненного сплава CuCrZr (Cu – более 98%, Cr – 0,5–1,5%, Zr – 0,08–0,3%) с нержавеющей сталью 316L (рис. 1).

Наиболее эффективными для решения данной задачи являются методы сварки давлением – сварка трением (СТ) и сварка взрывом. Цель настоящей работы состояла в изучении возможности изготов-

ления биметаллических переходников сплав CuCrZr – сталь 316L с использованием СТ. Технические требования к биметаллическому переходнику предусматривали, в частности, его газоплотность при испытании гелием под давлением 7,5 МПа и сохранение показателей прочности сплава CuCrZr в зоне соединения. Исследовали формирование соединений при двух различных схемах – непосредственная СТ сплава CuCrZr со сталью 316L (схема 1) и СТ с использованием переходного элемента (схема 2) из меди М1, технического никеля НП2, наноструктурных фольг (НФ) дискретного типа систем Al/Ni и Ni/Cu: Ni-Ti/Cu-Ni; Ni-Al/Ni-Ni.

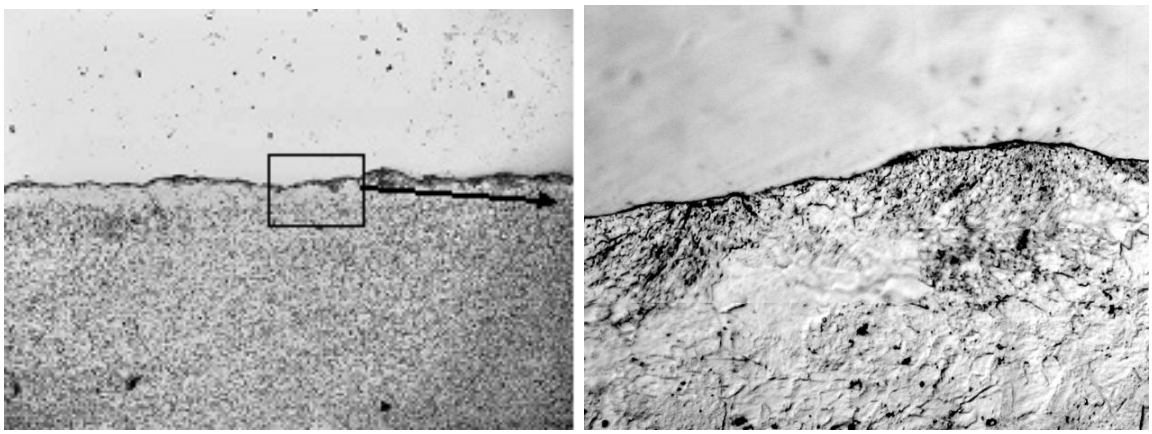


а *б*

Рисунок 1 – Конструкция VTQP (*а*), микроструктура сплава CuCrZr (*б*), ×1000

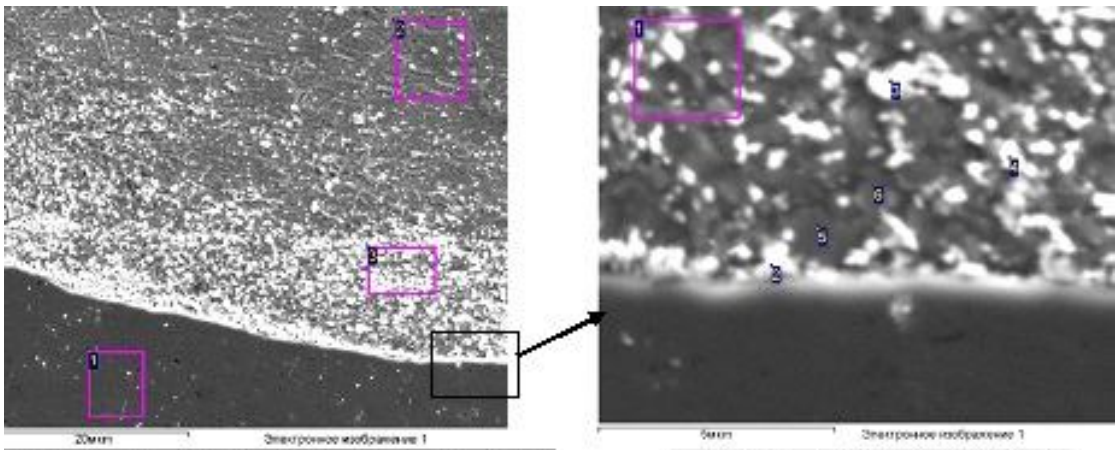
При металлографических исследованиях стыков, выполненных СТ по схеме 1, наблюдается отсутствие частиц упрочняющей фазы со стороны сплава CuCrZr (рис. 2, *а*) на расстоянии 20–100 мкм от линии соединения (ЛС). В то же время, присутствуют значительные скопления высокодисперсных частиц упрочняющей фазы (размером 0,5–1,0 мкм) непосредственно у ЛС со стороны сплава CuCrZr (рис. 2, *б*). Структура металла у ЛС и химический состав частиц упрочняющей фазы (рис. 3) свидетельствуют о диффузионном перемещении легирующих элементов из стали 316L в процессе СТ и образовании хрупкой прослойки, обогащенной Cr, Fe, со стороны сплава CuCrZr.

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



а *б*

Рисунок 2 – Микроструктура зоны соединения при СТ по схеме 1: ×100 (*а*), ×1000 (*б*)



Спектр	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo
1	16.88	1.40	67.01	11.51	0.92	2.27
2	0.70	0.00	0.33	0.00	98.97	0.00
3	4.67	0.31	12.07	1.36	81.59	0.00

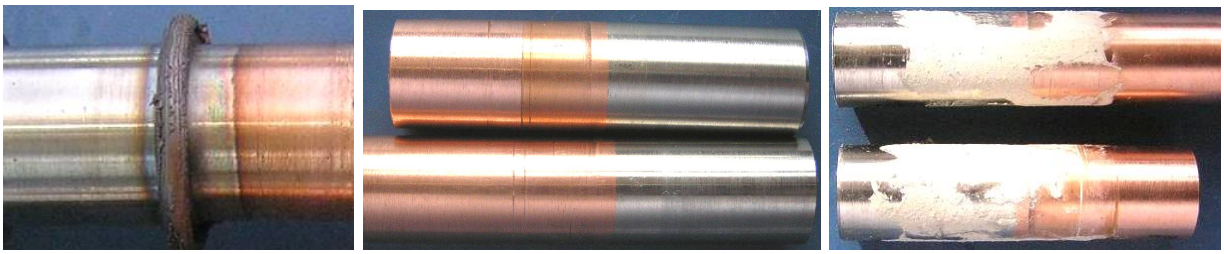
Спектр	Cr	Fe	Ni	Cu	Mo
1	2.69	7.50	0.71	89.10	0.00
2	18.46	37.19	3.03	38.64	1.89
3	44.30	23.42	1.16	29.53	0.97
4	3.14	8.50	1.30	86.26	0.80
5	2.62	6.71	1.14	88.79	0.74

а *б*

Рисунок 3 – Структура соединения CuCrZr/сталь 316L (схема 1): ×2700 (*а*), ×14000(*б*)

На рис. 4. представлены биметаллические переходники CuCrZr/сталь 316L, выполненные СТ по схеме 2. При металлографических исследованиях стыков фиксируется равномерное распределение частиц упрочняющей фазы у ЛС со стороны сплава CuCrZr.

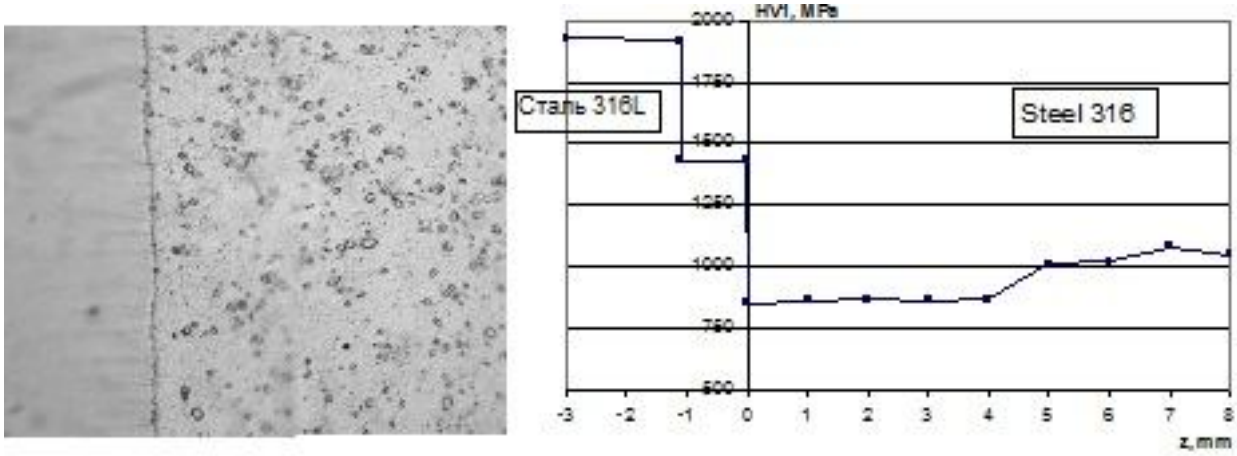
Разработана технология СТ переходников сплав CuCrZr/сталь 316L с использованием промежуточного элемента. Сварные стыки после СТ, механической обработки и неразрушающего контроля проникающими жидкостями представлены на рис. 4, *а–в*. Роль промежуточной прослойки заключается в активации свариваемых поверхностей в процессе СТ, обеспечении бездефектности биметаллических соединений и предотвращении их охрупчивания вследствие диффузии легирующих элементов стали 316L в сплав CuCrZr.



а *б* *в*

Рисунок 4 – Биметаллические переходники CuCrZr/сталь 316L:
стык после СТ (*а*), механической обработки (*б*), контроля проникающими жидкостями (*в*)

Микроструктура и морфология частиц упрочняющей фазы металла в зоне соединения со стороны сплава CuCrZr соответствуют таковым в основном металле (рис. 5, *а*). Распределение микротвердости в соединении, выполненном СТ по разработанной технологии, представлено на рис. 5, *б*. После термической обработки биметаллических переходников показатели микротвердости металла в зоне соединения со стороны сплава CuCrZr восстанавливаются и соответствуют показателям основного металла.



а *б*

Рисунок 5 – Микроструктура соединения CuCrZr/НП2 (*а*), ×1000, распределение микротвердости HV1 в соединении CuCrZr/НП2/сталь 316L (*б*)

При механических испытаниях сварных образцов на разрыв, разрушение происходит по сплаву CuCrZr при значениях показателей прочности, выше таковых, заданных техническими требованиями. Ультразвуковой контроль [1], контроль проникающими жидкостями (см. рис. 4, *в*) и испытания на газоплотность гелием под давлением 7,5 МПа показали соответствие биметаллических переходников техническим требованиям.

Литература

1. Ziakhor I. Computerized control of defects in pressure welding joints by ultrasonic inspection / I. Ziakhor, I. Khudetskyy // Proc. of the XIIIth Int. Conf. «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science», February 23-26, 2016, Lviv-Slavske. – P. 761–763.

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

ПОЛУЧЕНИЕ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ SnSbCu ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО АРМИРУЮЩИЕ И МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ

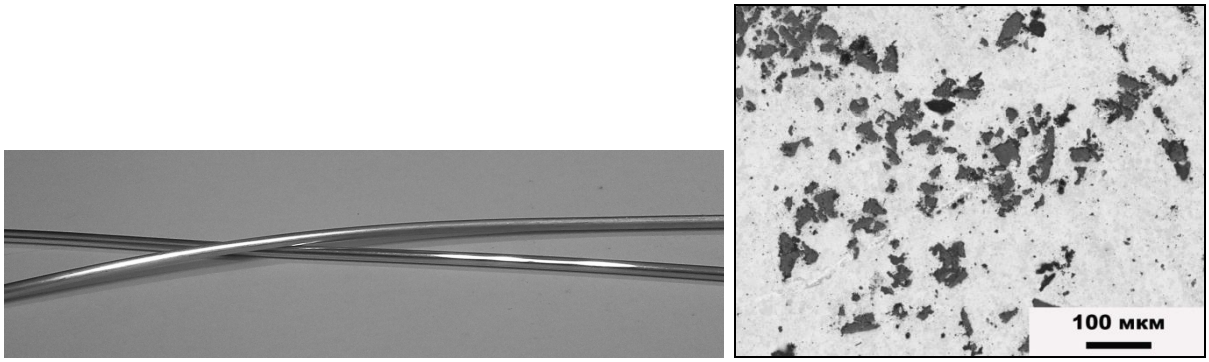
Свойства материалов на основе цветных металлов (Sn, Pb, Al, Mg), применяющихся в качестве рабочего слоя биметаллических деталей уже не отвечают современным требованиям. Эффективным способом повышения служебных свойств этих сплавов является их дискретное армирование высокопрочными фазами различной природы, морфологии и размера. Ранее проведенные исследования показали весьма высокие трибологические свойства дисперсно-армированных высокопрочными карбидами, гиперфуллереновыми структурами, модифицированными шунгитовыми породами алюмоматричных композиционных материалов (КМ) и покрытий на их основе: нагрузочную способность, фрикционную теплостойкость, задиростойкость, низкие коэффициенты трения [1–3]. Однако наибольший интерес представляет задача разработки методов получения покрытий на основе сплавов системы SnSbCu (баббитов), нанесенных стальную основу. В качестве армирующих наполнителей для упрочнения пластичных матриц широко применяются частицы SiC, B_4C, TiC, SiO_2, Al_2O_3, имеющие высокую твёрдость, температуру плавления и химическую стабильность, а среди методов нанесения покрытий, большим потенциалом обладают технологии дуговой наплавки,

позволяющие предотвращать ликвацию армирующих фаз и формировать покрытия заданной толщины. Также, поскольку при технологической операции нанесения покрытия, специальные присадочные материалы в виде порошков, проволок, прутков и лент изменяют агрегатное состояние и проходят стадию расплава, то от введения в их состав субмикронных добавок тугоплавких частиц можно ожидать модифицирующего эффекта, проявляющемся в формировании дисперсной структуры сплава при кристаллизации. Кроме того, высокие, по сравнению с литейными методами, скорости охлаждения позволяют получить более дисперсную структуру, что оказывает положительное влияние на усталостную прочность и сопротивление хрупкому разрушению контактной поверхности материалов в процессе эксплуатации и увеличивает ресурс работы изделия.

Целью работы являлось разработка режимов получения, исследование структуры и трибологических свойств наплавочных прутков и покрытий на основе баббита Б83(ГОСТ 1320-74), армированных частицами карбида кремния со средним размером 40 мкм (ГОСТ 26327-84) и субмикронными частицами карбида бора размером менее 1 мкм (ГОСТ 5744-85).

Для изготовления наплавочных прутков из полученного порошка баббита размером 400-600 мкм либо композиционной смеси, навески массой 80-100 г засыпали в прессформу и нагревали в муфельной печи до температуры 310±10 ^{o}C и выдержке 30 мин, а затем экструдировали на механическом прессе ОМА (P_{max} – 150 кН) при усилии 320±5 МПа. Использовали фильеры диаметром 3 и 6 мм. Наплавочные прутки имели диаметр 3 мм и длину 350-400 мм, что соответствовало ГОСТ 21449. Из полученных прутков диаметром 6 мм готовили образцы для оптической, электронной микроскопии и трибологических испытаний. Видно, что изготовленные наплавочные прутки имеют гладкую, бездефектную поверхность (рис. 1, *а*). Металлографический анализ показал наличие и распределение в матрице частиц B_4C и SiC и отсутствие пористости и несплошностей во внутреннем объеме (рис. 1, *б*).

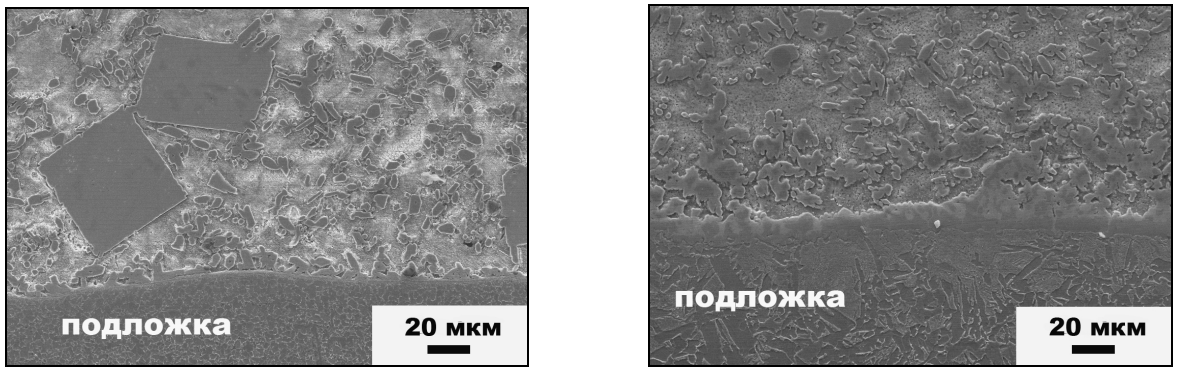
Эксперименты по нанесению антифрикционных покрытий на стальную основу из стали марки Ст3сп (ГОСТ 380) осуществляли методом дуговой наплавки. Дуговую наплавку производили на переменном токе неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона. Определены режимы наплавки: сварочный ток I = 160–170 А, напряжение на дуге $U_д$ = 16–18 В, скорость наплавки $V_н$ = 4,2 м/ч, расход защитного газа (аргона) составлял 12–14 л/мин.



а *б*

Рисунок 1 – Внешний вид и структура наплавочных прутков состава: Б83 + 0,25масс.%B_4C + 5 масс.% SiC

В структуре наплавленного слоя из сплава Б83 видны крупные включения интерметаллидов SnSb характерные для литого материала (рис. 2, *а*), однако они приобрели более развитую поверхность. Интерметаллиды Cu_3Sn претерпели значительные изменения, их форма изменилась от иглообразной на более округлую. Покрытие, полученное с применением наплавочного прутка состава Б83 + 0,25масс.%B_4C + 5 масс.% SiC представлено на рис. 2, *б*. Можно отметить хорошую адгезию наплавленных слоев с подложкой, линия сплавления с основой из стали марки Ст3сп является непрерывной и не содержит дефектов.



а *б*

Рисунок 2 – Структура покрытий состава: Б83 (*а*), Б83+SiC+B_4C (*б*)

По сравнению с исходным литым сплавом происходит измельчение интерметаллида SnSb. В исходном промышленном литом сплаве Б83 средний размер интерметаллида SnSb составил 79 мкм, тогда как в наплавленном слое их размер уменьшился до 47 мкм в покрытии из Б83 и до 39 мкм в покрытии состава Б83 + 0,25 масс.% B_4C + 5 масс.% SiC. В первом случае это связано с высокими скоростями охлаждения в процессе наплавки, а во втором дополнительно сказывается присутствие армирующих частиц SiC

микронного размера и субмикронных частиц B_4C. Тугоплавкие частицы SiC являются термическими стопорами, препятствующими развитию химических реакций роста интерметаллидных фаз, а субмикронные частицы B_4C выполняют роль модификатора структуры, являясь центрами зарождения интерметаллидных фаз при кристаллизации расплава на поверхности стальной основы.

Покрытия из КМ по результатам трибологических испытаний показали большую износостойкость по сравнению с покрытием из сплава Б83. Так, их значения интенсивности изнашивания меньше на 25–30% значений для покрытий из сплава Б83. Субмикронные армирующие частицы B_4C не могут защитить матрицу от механического уноса материала, но оказывают косвенное положительное влияние на износостойкость благодаря упрочнению матрицы за счет диспергирования ее структуры.

Таким образом, введение в расплав тугоплавких армирующих частиц микронного и субмикронного размера является одним из способов объемного модифицирования за счет влияния на размеры образующихся интерметаллидных фаз, межфазное взаимодействие по поверхностям раздела между интерметаллидами, армирующими частицами и матричным расплавом и дисперсность элементов литой структуры матричного сплава при кристаллизации.

Литература

1. Чернышова Т.А. Получение алюмоматричных композиционных материалов с наноразмерными модификаторами методами жидкофазного совмещения / Т.А. Чернышова, И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Л.И. Кобелева. // ФХОМ. – 2006.– № 1. – С. 85–90.

2. Калашников И.Е.. Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками / И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Т.А. Чернышова // Цветные металлы. – 2010. – № 9. – С. 67–71.

3. Калашников И.Е. Трибологические характеристики литых алюмоматричных композиционных материалов, модифицированных наноразмерными тугоплавкими порошками / И.Е. Калашников, Л.К. Болотова, Т.А. Чернышова // Российские нанотехнологии. – 2011. – Т. 6, № 1-2. – С. 135–142.

Клименко Г.П. Донбаська державна
машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

В Україні здійснюється впровадження міжнародних стандартів ISO 9000 версії 2000 року, що регламентують розробку систем керування якістю продуктів і процесів, розробку стандартів і нормативних матеріалів. У зв'язку з цим особливе значення набувають питання сертифікації виробничих процесів, зокрема , процесів експлуатації різального інструменту, визначення науково-обґрунтованих режимів різання, норм видатку та інших регламентів експлуатації інструменту.

Велике розсіювання параметрів обробки на важких верстатах, різноманіття чинників, що впливають на процес експлуатації, потребують комплексного підходу до визначення керуючих параметрів процесу експлуатації інструменту, методика якого потребує розробки.

Мета цієї роботи полягає в підвищенні ефективності використання різального інструменту на важких верстатах шляхом розробки системи управління якістю процесу його експлуатації, визначення раціональних регламентів експлуатації і розробки загальномашинобудівних нормативів різання.

Статистичні дослідження параметрів обробки деталей на важких верстатах дозволили встановити найбільш поширені умови експлуатації інструменту. У роботі показано, що 70% операцій, що виконуються на чорнових важких токарних верстатах, складає повздовжнє обточування деталей твердосплавним інструментом. Всі параметри експлуатації інструменту на важких верстатах мають велике розсіювання, що підтверджує необхідність розгляду стохастичного характеру процесу експлуатації інструменту. Всі ці чинники і визначили основні задачі наукового дослідження.

На основі використання принципів міжнародного стандарту ISO 9000: 2000 створена модель системи якості процесу експлуатації інструментів на важких верстатах. При побудові структури системи (рис. 1), експлуатація інструменту вперше розглядається як сукупність процесів: організаційного, керування ресурсами, обслуговування технологічної системи, підготовчо-інформаційного, процесу обробки деталей і забезпечення зворотнього зв'язку (оцінки, аналізу, удосконалення).

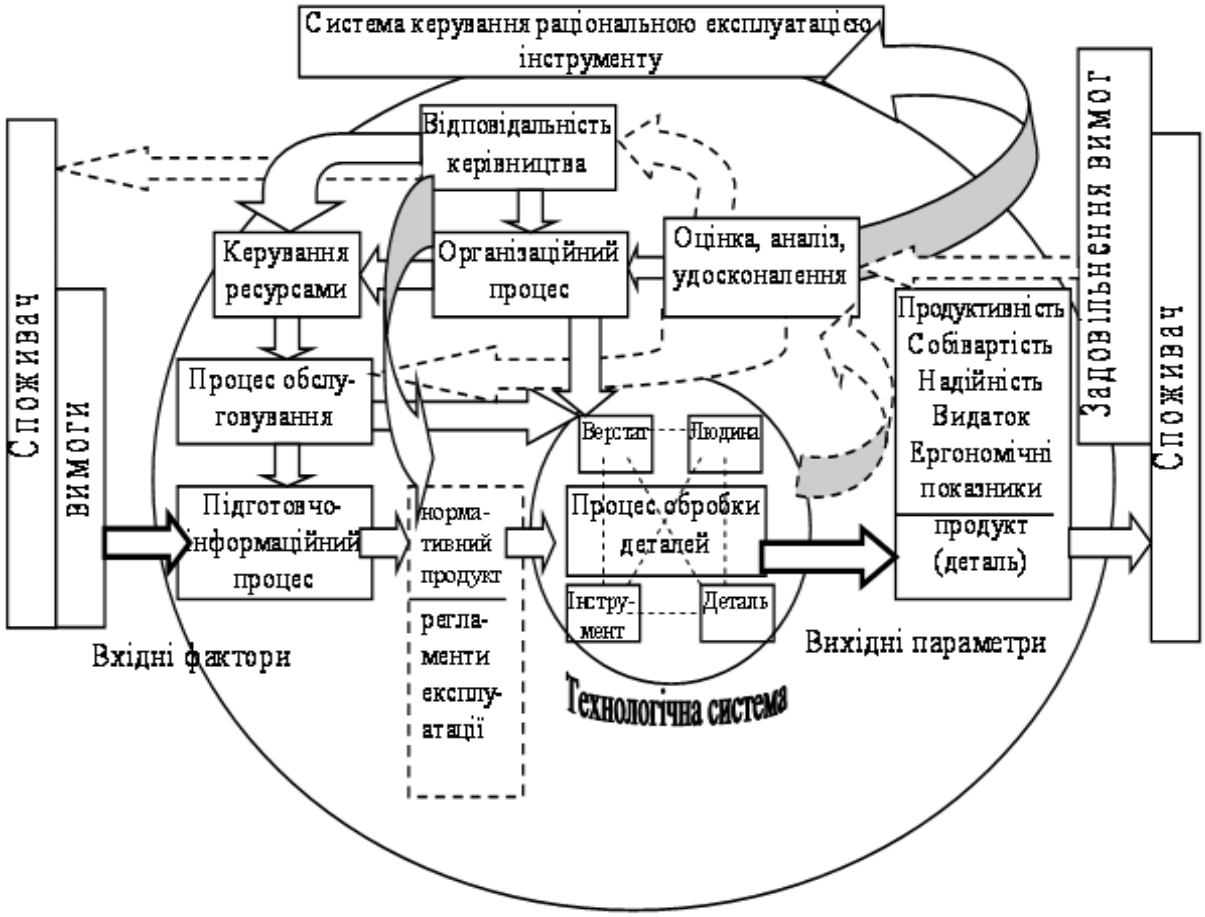


Рисунок 1 – Структура системи експлуатації інструменту

Для кількісної оцінки якості процесу експлуатації використано кваліметрічний підхід. Розроблена ієрархічна структура властивостей, що складають якість експлуатації інструменту, містить властивості призначення, що характеризуються цільовими функціями для багатокритеріальної оптимізації якості процесу експлуатації різального інструменту [1]. Вони являють собою вектор критеріїв керування якістю процесу (цифра позначає рівень розгляду) $U^{-1} = \left(U_1^3, U_2^3, U_3^3, U_4^3, U_5^3\right)$.

Статистичні дослідження якості експлуатації інструментів використовувалися на основі інформаційного банку даних, що нараховує більше 5000 випадків обробки деталей на важких верстатах, які зібрані на заводах різних галузей машинобудування.

Для теоретичних досліджень якості експлуатації розроблені методика і програмне забезпечення для ЕОМ із використанням теорії кваліметрії, а також методики експертної оцінки якості експлуатації інструменту. Для вибору конструкції інструменту з інформаційного банку конструкцій запропоновано використовувати методику кластерного аналізу, яка розроблена на базі прикладної математичної статистики з використанням ПК (пакет програм Statistica 5.5).

При формуванні кластерів використана агломеративна ієрархічна кластер-процедура. Конструкції інструментів із банку об'єднуються в класи, які характеризуються областю регламентів їх раціональної експлуатації.

Експлуатаційні і лабораторні випробування проводилися твердосплавними інструментами марок ВК8, Т5К10, Т15К6 із зносостійкими покриттями, із вібраційною обробкою й іонною імплантацією. Для контролю якості покриттів використовувався метод акустичної емісії. Для оцінки механічних властивостей досліджуваних сталей (45, 40Х, ШХ15СГ, 12Х18Н9Т, 9ХС)проводилися механічні випробування зразків у відповідності зі стандартами (ДСТУ 1497-73).

Експертна оцінка властивостей, що характеризують якість експлуатації, дозволила виявити з них найбільш важливі, що враховувалися при розробці інформаційно-підготовчої підсистеми раціональної експлуатації інструменту (рис. 2).

Рисунок 2 – Структура підготовчо-інформаційної підсистеми раціональної експлуатації різальних інструментів

Дослідження експлуатаційної міцності конструкцій із метою визначення поправочних коефіцієнтів на подачу, що залежать від

типу конструкції, проводилися відповідно до методики східчасто-зростаючої подачі.

Висновки. Розроблена модель системи керування процесом експлуатації інструменту вперше дозволила системно розглянути структуру та взаємозв‘язки усіх складових частин процесу. Квалі-метричний підхід до процесу експлуатації інструменту дав змогу розробити методи кількісної оцінки якості процесу та обґрунтувати структуру підготовчо-інформаційної підсистеми. Результати дослі-джень використані при розробці системи раціональної експлуатації інструменту на важких верстатах.

Література

1. Клименко Г.П. Повышение надежности технологической системы при механообработке на тяжелых токарных станках / Г.П. Клименко, А.Ю. Андронов // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – Вип.3. – С. 49–54.

2. Клименко Г.П. Определение уровня качества эксплуатации режущего инструмента на тяжелых станках / Г.П. Клименко // Вісник НТУ України «КПІ». Машинобудування. – 2001. – Вип.40. –С. 337–346.

3. Клименко Г. П. Менеджмент качества процесса эксплуатации режущего инструмента на тяжелых станках / Г.П. Клименко // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць.– Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – Вип. 1 (5). – С. 157–160.

Клименко С.А., Мельнийчук Ю.А. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина
Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ С ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Традиционно, среди многообразия показателей, в качестве основного критерия обрабатываемости материалов резанием используется скорость резания при определенной стойкости инструмента, которая чаще всего составляет 60 мин (v_{60}). Этот фактор, как и ос-

тальные, тесно связан с физико-механическими свойствами обрабатываемых материалов и, соответственно, с их структурой. Особенно это значимо для случая обработки материалов с гетерогенной структурой [1].

В настоящей работе выполнена сравнительная оценка обрабатываемости напыленных материалов, имеющих одинаковый химический состав, но нанесенных различными методами, инструментом, оснащенным ПСТМ на основе КНБ «Борсинит».

Анализ зависимости стойкости инструмента от величины фрактальных параметров структуры напыленных покрытий системы Fe-B, позволяет сделать вывод, что гетерогенность структуры, нестабильность механических свойств напыленных покрытий оказывают определяющее влияние на интенсивность изнашивания инструмента.

Обработка резанием материала, структура которого характеризуется повышенной величиной фрактальной размерности D_s, сопровождается ускоренным изнашиванием режущего инструмента, что обусловлено, прежде всего, интенсификацией ударной нагрузки на контактные участки инструмента и ростом нестабильности самого процесса резания.

При лезвийной обработке покрытий сравнительную оценку их обрабатываемости невозможно провести по критерию скорости резания, которой соответствует стойкость инструмента 60 минут, в связи с тем, толщина покрытия на деталях обычно незначительна, а стойкостные исследования связаны с большим расходом обрабатываемого материала. В данном случае в качестве основного критерия обрабатываемости резанием можно принять скорость резания, которая соответствует меньшей величине стойкости инструмента.

Как показано на рис. 2, при обработке ряда покрытий прослеживается зависимость скорости резания v_{23}, при которой обеспечивается стойкость инструмента $T = 23$ минуты при достижении фаски износа по задней поверхности $h_з = 0{,}25$ мм, от величины фрактальной размерности их структуры. С ростом последней значительно уменьшается скорость v_{23}, которую, в данном случае, правомерно использовать в качестве критерия обрабатываемости материала.

Анализируя данные, представленные на рис. 3, можно заключить, что с повышением скорости резания уменьшается влияние неоднородности структуры обрабатываемого материала на интенсивность изнашивания инструмента.

С увеличением гетерогенности структуры точение покрытий целесообразно выполнять с более высокими скоростями резания,

что позволяет повысить производительность и снизить себестоимость обработки (рис. 4).

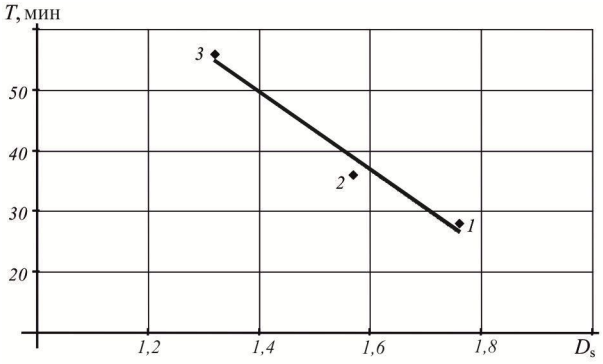


Рисунок 1 – Влияние фрактальной размерности структуры материала на стойкость инструмента при точении покрытий состава $Fe_{80}B_{20}$:
1 – газопламенное из порошка;
2, 3 – электродуговое и газопламенное из порошковой проволоки

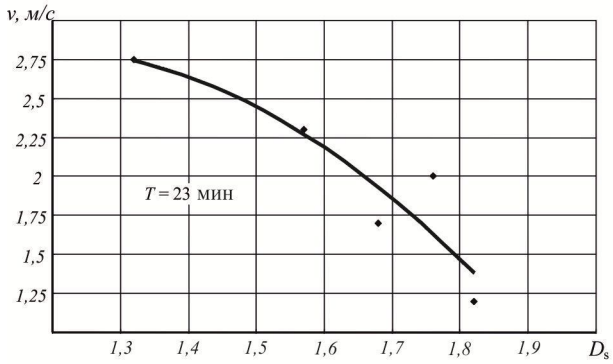


Рисунок 2 – Влияние фрактальной размерности структуры ряда покрытий на скорость резания, при которой обеспечивается стойкость инструмента T = 23 минуты

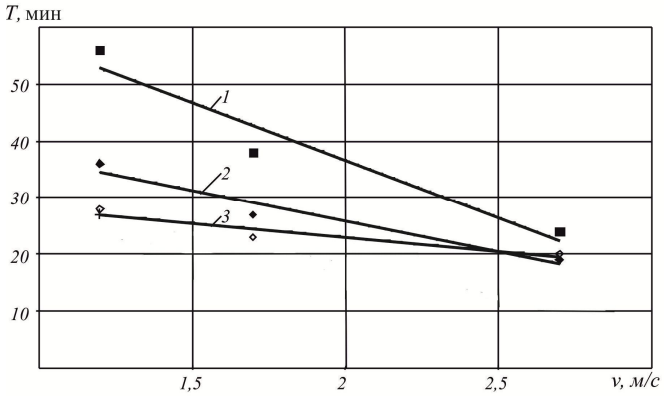


Рисунок 3 – Влияние скорости резания на стойкость режущего инстру-мента при точении покрытий состава $Fe_{80}B_{20}$: *1*, *2* – газопла-менное (D_s = 1,32) и электроду-говое (D_s = 1,57) из проволоки; *3* – газопламенное из порошка (D_s = 1,76)

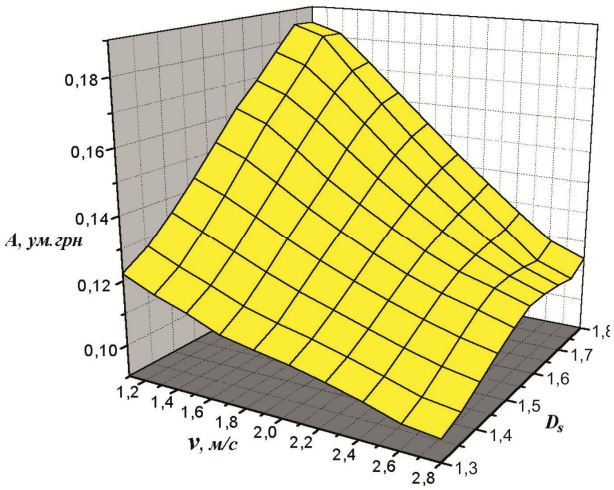


Рисунок 4 – Зависимость себестоимости токарной обработки (A) покрытий от величины фрактальной размерности их структуры D_s и скорости резания v

Результаты экспериментальных исследований показывают, что величину фрактальной размерности структуры правомерно использовать в качестве характеристики, которая количественно определяет обрабатываемость материалов резанием.

Как следует из полученных результатов, структура материала является технологическим бартером, который обусловливает его обрабатываемость резанием, и, тем самым, оказывает непосредственное влияние величину выходных параметров процесса обработки, которыве могут быть достигнуты – производительность обработки, стойкость инструмента, показатели качества обработанной поверхности.

Литература

1. Клименко С.А. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту / С.А. Клименко, Ю.О. Мельнійчук, Г.В. Встовський. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2009. – 172 с.

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В. Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО НАБОРУ ПАРАМЕТРІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В даний час висока вартість окремих одиниць технологічного обладнання автоматизованого машинобудівного виробництва вимагає нових підходів до економії матеріальних витрат і продовження його працездатності. Дану проблему можна вирішити, по-перше, за рахунок модифікації застарілого обладнання і, по-друге, за рахунок поліпшення методів прогнозування зміни параметрів на основі діагностики обладнання.

Досліджено методи моделювання процесу прогнозування толерантності набору параметрів металорізальних верстатів в автоматизованому виробництві. Проведено аналіз і оцінка методів моделювання прогнозу параметрів металорізальних верстатів на основі структур даних. Розроблено інформаційну систему прогнозування стану металорізальних верстатів як засобу підвищення ефективності автоматизованого виробництва.

Аналіз експлуатації важких токарних верстатів з ЧПК показав, що часто їх технологічна насиченість не відповідає конструктивно-технологічним характеристикам деталей. Розміри робочого простору верстатів іноді значно перевищують габаритні розміри деталей,

число формоутворюючих рухів і інструментів в магазині також бувають зайвими. Це призводить до більш високої матеріало- та енергоємності верстатів, завищеної собівартості виготовлення деталей.

Розроблено функціональну модель основного процесу побудови функціонально-структурної моделі металорізального обладнання, що дозволило встановити всі процеси, що входять в основний процес, їх взаємозв'язок, вхідну і вихідну інформацію. Розроблено декомпозиції основного процесу, що формалізують послідовність розробки комплексних деталей – представників певної складності та побудови відповідних функціонально-структурних моделей верстатів. Розроблено математичні моделі, які дозволяють встановити функціональні залежності між складністю деталей, що підлягають обробці, функціями обладнання та функціональними блоками які їх реалізують.

Функції верстату:

$$r: S \times T \rightarrow F ,$$

де r – відображення множини; $S = \{Si\}$ – множина комплексної деталі – представника складністю Si; $T = \{Ti\}$ – множина структур технологічних операцій, що реалізуються верстатної системою; F = $\{Fi\}$ – множина функцій верстатної системи.

$$r\,(Si \times Ti) = \{Fi: (U\,Si \times Ti)\,(Si \times Ti; Fi) \in r\}.$$

Визначення функціональних блоків:

$$B \in x\{Bi{:}i \in I],$$

де B' – верстатна система у вигляді функціональних блоків; x – символ декартова добутку; Bi – i-й функціональний блок; I – множина функціональних блоків.

$$B \in : B1, \times B2 \times \ldots . \times Bn.$$

Відображення множини функцій верстату у множину функціональних блоків $d: F \rightarrow B$

Функціональні блоки Bi, що забезпечують задану функцію:

$$d\,(Fi) - (\{\,Bi\} : (\exists\ Fi)\,(Fi; Bi) \in d)\ .$$

Кінцева підмножина функціональних блоків $\{Bi\}$, необхідних для реалізації функціональної моделі верстату в цілому:

$$U\,d\,(Fi) - \{\,Bi\ /\ \exists\ (m \in \mathrm{M}) \wedge Bi \in d\,(Fi)\}\ ,$$

де М - множина образів функцій $(Fb \ldots , Fi) \in F$ при відображенні d; m - елемент множини М.

Уніфікований склад функціональних блоків для створення необхідних верстатів

$$Bi = [U(Ud(Fi)) \in B \forall\ (Fi) \in F]$$

Головна функція $F0$ "обробити групу деталей ".

$$Fi \leftrightarrow \text{Фк},$$

де «↔» – знак, що позначає еквівалентність множин; Фк – формоутворюючі координатні переміщення виконавчих органів верстату, які необхідні для обробки поверхонь груп деталей – представників:

Взаємозв'язок множин функцій різних рівнів:

$$F=\{F0\}\text{x}\{F1i\}\text{x}\{fij\}$$

Можливий склад блоків: A | | *Bi* x *fij* | |

$$a_{ij}\begin{cases}1 & \text{якщо для } f_{ij} \text{ необхыдний блок } Bf_i\\ 0 & \text{у протилежному випадку}\end{cases}$$

де a_{ij} – елементи матриці; i – 1, n, j – 1, n – число допоміжних функцій і блоків.

Встановлено залежності для визначення уніфікованого складу функціональних блоків для побудови всієї гами нового обладнання. Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК представлено на рис. 1.

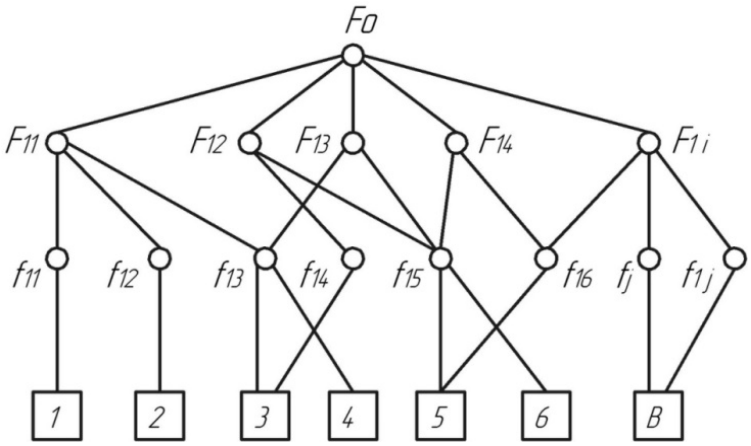


Рисунок 1 – Загальний вигляд функціонально-структурної моделі верстату з ЧПК: *Fo* – загальносистемна функція; F_{11}. –.F_{ij} – основні функції; f_i..–f_j – допоміжні функції; *B* – функціональні блоки верстату

Із застосуванням функціонально-вартісного аналізу сформульовані головна, основні і допоміжні функції верстату і розроблена його узагальнена функціональна модель. В якості основних функцій верстату прийняті його формоутворюючі координати, від складу яких залежить ефективність обладнання. Розроблено функціонально-структурну модель верстату, що погоджує функції з функціональними блоками.

Побудова функціонально-структурної моделі дозволяє встановити комплекс необхідних і достатніх (оптимальних) функцій, що

реалізуються верстатом, і виконавчих механізмів, які їх забезпечують (агрегатів, вузлів і т.п.).

Таким чином, вперше на підставі статистичних досліджень параметрів механічної обробки запропонована концепція структурно-параметричного синтезу конструкцій важких верстатів, яка дозволяє визначити раціональні параметри важких верстатів, що враховують реальні виробничі умови. Встановлені необхідні конструктивні параметри важких токарних верстатів, які пов'язані з розмірами оброблюваних деталей і режимами різання, обґрунтовано доцільність створення верстатів за модульним принципом. Проаналізовано типові деталі, які оброблюються в умовах підприємств важкого машинобудування. Так, для ПАТ НКМЗ сформовано три групи деталей - представників на основі кластерного аналізу габаритних розмірів і кількості необхідних формоутворюючих рухів. В результаті аналізу деталей-представників виявлені вимоги до конструкції металорізального обладнання для конкретних умов підприємства, визначені параметри найбільш раціональних конструкцій важких токарних верстатів: 1) D_{max} = 1250 мм, L_{max} = 6000 мм, вантажопідйомність 25 т, 2) D_{max} = 2000 мм, L_{max} = 8000 мм, вантажопідйомність 60 т. Результати роботи впроваджені при створенні важких токарних верстатів нового покоління, що випускаються ПАТ «КЗВВ».

Кондратюк Е.В., Кириченко В.В., Манжос В.Г.,
Шурша А.В. ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес», Запоріжжя
Рябченко С.В. ДП «БЕСТ-БІЗНЕС», Київ, Україна

ШЛІФУВАННЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ

Шліфування складнопрофільних хвостовиків лопаток турбін є однією з трудомістких процесів виробництва авіаційних двигунів. Використання сучасних технологій обробки та прогресивних інструментів дозволяє в значній мірі підвищити рівень характеристик та економічності авіаційних двигунів.

Дана робота направлена на випробування нового шліфувального інструменту з монокристалічного корунду для обробки лопаток турбін.

Дослідно-промислове випробування високопористих абразивних кругів з монокристалічного корунду проводили на ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес» (м. Запоріжжя). Шліфувалися складнопрофільні хвостовики типа «ялинка» робочій лопатки турбіни.

Шліфування складнопрофільних хвостовиків здійснювалось на шліфувальному верстату з ЧПК «MAGERLE MFP- 050». Випробовувались високопористі шліфувальні круги діаметром 300 мм з монокристалічного корунду (300×45×76,2 A59 54/60 G 11 VC40), виробництва холдингу «BEST-BUSINESS a.s.» (Чехія) (рис. 1), правка шліфуваль–них кругів виконувалась алмазними правлячими роликами, виробництва ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України.

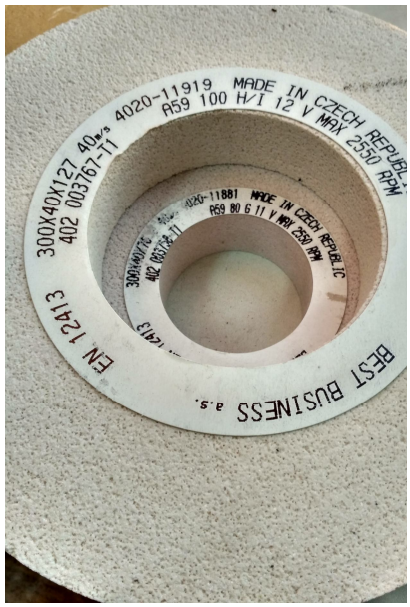


Рисунок 1 – Шліфувальніий круг з монокристалічного корунду

Визначення придатності шліфувальних кругів виконувалось по складнопрофільній поверхні зразка типа «ялинки», на верстаті з ЧПК «MAGERLE MFP-050» з автоматичним контролюванням швидкості, рясною подачею охолоджуючої рідини та постійною правкою круга (режими різання наведені в табл. 1).

Таблиця 1 – Режими різання при обробці лопаток

№ лопатки	Швидкість круга, м/с	Подача мм/хв.	Припуск, що знімається, мм	Подача правки, мм/об.	Обертання ролику, % до круга
930Г	20	350	1,5	0,5	80
928Г	20	230	1,5	0,6	80
930Г	20	180	0,6	0,8	80
930Г	20	180	0,575	0,7	80
930Г	20	180	0,775	0,8	80
930Г*	25	700	0,025	–	–
332Д	20	350	1,5	0,4	80
332Д	20	230	1,5	0,6	80
332Д	20	180	0,6	0,8	80
332Д	20	180	0,575	0,8	80
332Д*	20	700	0,025	–	–

*Без правки

Всі зразки лопаток пройшли візуальний контроль та контроль шорсткості оброблюваної поверхні. На всіх зразках з однієї сторони поверхні «ялинки» є наявність повздовжніх, практично однакових рисок, розташованих за рухом подачі верстату, які недопустимі технічними вимогами креслення. На шліфувальному кругу були виявлені вкраплення чорного кольору. Для подолання такого недоліку, було змінена зернистість високопористих абразивних кругів з монокристалічного корунду з FEPA 54/60 (355–250 мкм) на зернистість FEPA 80 (212–160 мкм), що забезпечить відсутність рисок на поверхні.

Результати випробування показали, що продуктивність обробки при шліфуванні поверхні зразка типа «ялинки» високопористими шліфувальними кругами з монокристалічного корунду підвищується у 1,5 рази, в порівнянні з кругами із білого електрокорунду при зберіганні необхідної точності та якості обробленої поверхні.

Випробування високопористих абразивних кругів з монокристалічного корунду при шліфуванні складнопрофільних хвостовиків типу «ялинка» робочих лопаток турбін дозволяє використовувати шліфувальні круги із новітніх абразивних матеріалів – монокристалічного корунду – і підвищити продуктивність шліфування кругами у 1,5 разів.

Константинов В.М., Булойчик И.А. Беларусский национальный технический университет, Минск,
Конон А.А. ГП “КОНУС”, Лида, Беларусь,

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСКИСЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ

Принимая во внимание факт перехода металлургических предприятии на непрерывную разливку стали, что технологически требует обязательного раскисления выплавляемого металла, актуальной становится проблема, связанная с влиянием раскисляющих агентов (кремний) на характер формирования цинкового слоя при реализации процессов цинкования в расплавах. Как правило, содержание кремния в углеродистой стали условно можно разбить на три подобласти, отвечающие трем степеням раскисления стали:

- кипящая (0,01–0,05% Si)

- полуспокойная (0,06–0,15% Si)
- спокойная (0,16–0,37% Si)

В настоящее время "кипящие" стали применяется значительно реже. Спокойные стали с повышенной толщиной цинкового покрытия, как правило, используются в мостовых конструкциях, и практика работы с ними не претерпела изменений. Основная нагрузка по изготовлению оцинкованных металлоконструкций в настоящее время приходится на полуспокойные стали, которые относят к данному классу, в основном, уже по механическим свойствам, не принимая во внимание реальное содержание кремния. Практика работы показывает, что из-за разнообразия состава используемых в настоящее время раскисляющих агентов содержание кремния в полуспокойных сталях может быть самым разным – от 0,04–0,05 (что соответствует кипящим сталям) до 0,13–0,15%, что ближе по толщине покрытия и его внешнему виду к сталям спокойным. Если содержание кремния в интервалах 0,06–0,07 и 0,11–0,12% еще допускает образование удовлетворительного по внешнему виду покрытия с приемлемой адгезией, то в интервале содержания кремния 0,08–0,1% внешний вид покрытия является неудовлетворительным. Защитные свойства покрытий, получаемых в данных условиях не всегда удовлетворяют существующим технологическим и техническим требованиям. В связи с этим, определение контролируемых параметров процесса цинкования сталей с учетом влияния технологических параметров процесса цинкования на кинетику формирования защитных слоев в подобных условиях является важной и актуальной научно-производственной задачей.

Исследования проводили с использованием линии горячего цинкования фирмы «Джимеко» по технологии легирования расплава цинка никелем DAP. Процесс формирования горячего цинкового покрытия исследовали для сталей Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 09Г2С.

Увеличение содержания Si и P в стали увеличивает сродство железа к цинку и толщину покрытия, что напрямую влияет на внешний вид покрытия и пластичность. Так же, при увеличении толщины покрытия уменьшается адгезия покрытия к стальной подложке, что может привести к отслаиванию покрытия. Поэтому при рассмотрении влияния содержания кремния на характеристики покрытия часто рассматривают кремниевый эквивалент.

Помимо кремния, активность взаимодействия расплава цинка со стальной поверхностью также определяется и содержанием в

стали фосфора, которое должно быть минимальным [1, 2]. Фосфор в стали находится в значительно меньших количествах Ст3 КП, Ст3 ПС, Ст3 СП, но примерно в 2,5 раза химически активнее кремния. Ограничения по кремнию и фосфору для сталей, подвергаемых горячему цинкованию, принято описывать следующей эмпирической формулой [2, 3]:

$$Si\% + 2{,}5P\% < A, \quad (1)$$

где А – кремниевый эквивалент.

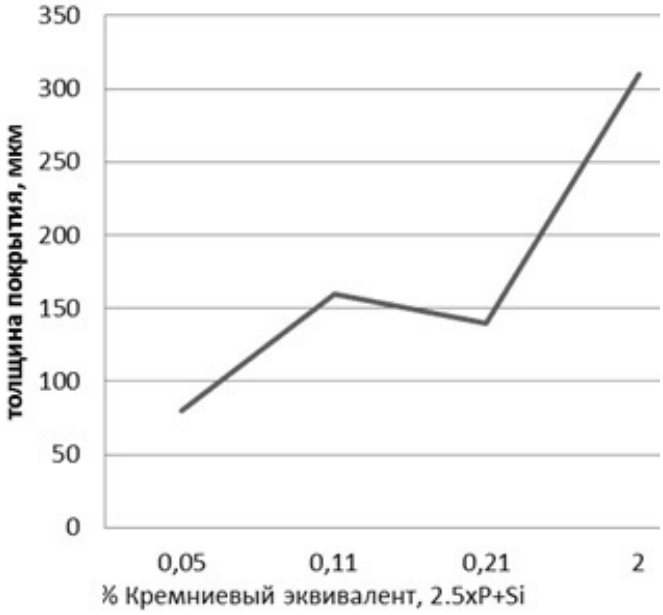


Рисунок 1 – Зависимость содержания кремниевого эквивалента от толщины покрытия

С учетом графического отображения кремниевого эквивалента, представленного на рис. 1 и формулы (1), значение кремниевого эквивалента не должно превышать 0,09% для горячекатаных сталей и А = 0,05% для холоднокатаных.

Для примера, в табл. 1 представлены данные о влиянии содержания кремния в стали на толщину формируемого цинкового покрытия при длительности цинкования – 4 мин и среде охлаждения – Воздух+вода, а также его внешний вид при охлаждении в воздухо-воздушной среде (рис. 2).

Таблица 1 – Влияние содержания Si в стали на толщину покрытия (температура расплава, 450 °С) **[3]**

Марка стали	Толщина покрытия*, мкм	Содержание Si и P
Ст 3 КП	80	Si 0,05%, P до 0,04%
Ст 3 ПС, содержание Ni в расплаве менее 0,001%	180	Si 0,11%, P до 0,04%
Ст 3 ПС	160	Si 0,11%, P до 0,04%
Ст 3 СП	140	Si 0,21%, P до 0,04%
09Г2С	310	Si 0,5%, P до 0,035%

* в таблице берется среднее арифметическое значение измерений

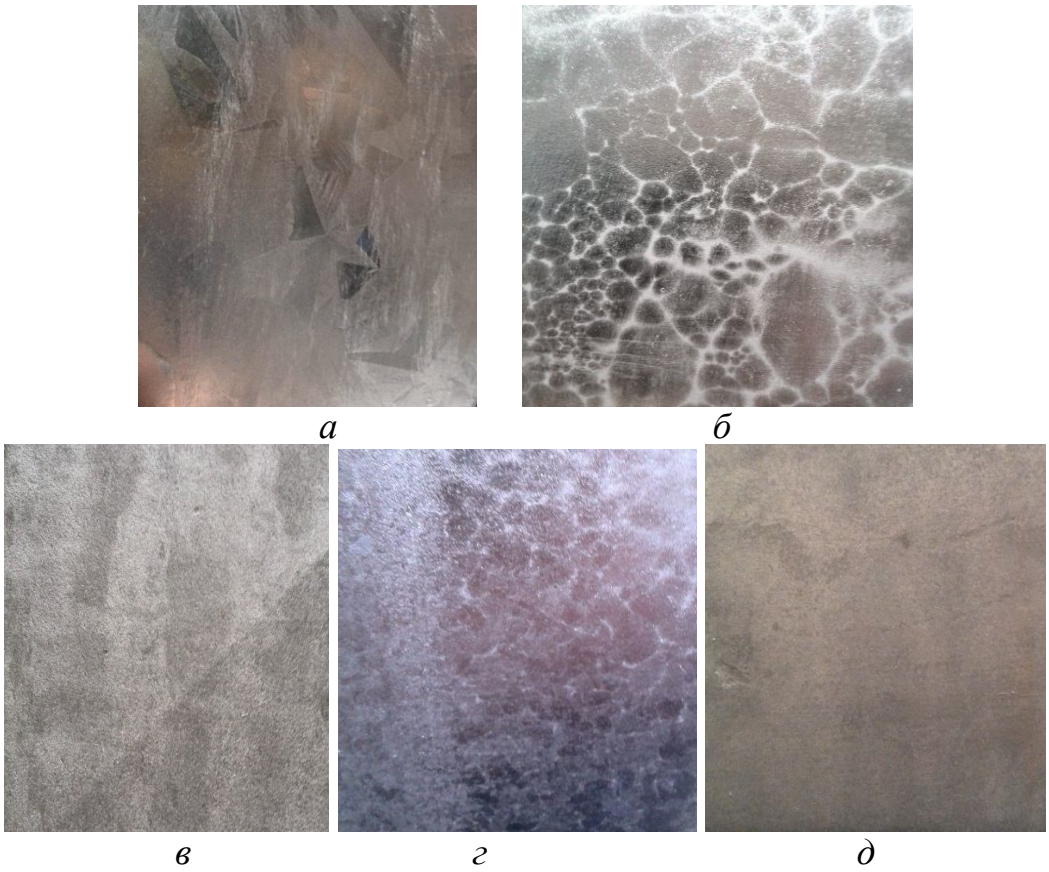


Рисунок 2 – Поверхность оцинкованных образцов из сталей с различным содержанием кремния при обработке в течение 4 мин., при температуре расплава 450°С и охлаждении в среде воздух+вода: *а* – Ст3кп; *б* – Ст3сп; *в* – Ст3пс с добавкой в расплав Ni менее 0,001%, Al, Pb; *г* – Ст3пс с добавкой в расплав Ni менее 0,001%; *д* – 09Г2С

Таким образом определено, что при содержании Si более 0,3% цинковое покрытие получается очень толстое и хрупкое, в результате чего отслаивается при механическом воздействии. Цинкование сталей с содержанием Si в интервале 0,07–0,12 приводит к получению большой толщины покрытия, что обуславливается активацией диффузионного взаимодействия расплава цинка со стальной основой в интервале указанных концентраций. Содержание в минимальных количествах в расплаве Ni уменьшает данный эффект, снижая скорость образования покрытий при прочих одинаковых условиях.

Литература

1. Знаменский Ю.П. Цинкование погружением: Интернет обзор по современным методам горячего цинкования

2. Steel protection by hot-dip galvanizing and duplex systems www.gaa.com.au/pdf/benefits.pdf

3. Конон А.А. Исследование процесса нанесения и качества цинковых покрытий, полученных методом горячего цинкования в условиях ГП «Конус»: маг. дис. / А.А. Конон. – Мн., 2013. – 65 с.

Константинов В.М., Епифанов Д.Е., Барисков Н.В.
Белорусский национальный технический университет,
Минский тракторный завод, Минск, Беларусь,

СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ЦЕМЕНТУЕМЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКЕ

Одним из эффективных путей интенсификации процессов зубообработки является применение в промышленности технологий объемного формообразования периодических профилей наружного зацепления. Это обеспечивает повышение производительности процесса, экономию стали, повышение качества. Наиболее эффективными являются процессы холодного накатывания периодических профилей, в частности, сферодвижная штамповка (СФШ). Получаемая при этом точность зубчатого профиля в ряде случаев является достаточной для зубчатого зацепления (рис. 1). Существенными преимуществами процесса СФШ являются уменьшение усилий деформации, снижение нагрузок на штамп, повышение стойкости штампов, снижение шума и вибраций а так же возможность полной автоматизации процесса. Преимуществом процесса СФШ так же является возможность значительно больших формоизменений без промежуточного отжига. Отпадает потребность в более дорогих многоступенчатых штампах, которые используются при обычной штамповке выдавливанием и, которые требуют больших затрат времени для изготовления, монтажа и обслуживания [1].

Производственный опыт эксплуатации пресса сферодвижной штамповки свидетельствует о недостаточной в ряде случаев стойкости накатных матриц. В этом случае износ поверхности зубьев матрицы не является лимитирующим фактором ее долговечности. Зачастую происходит усталостное разрушение зубьев инструментальной матрицы (рис 2). Причем, зарождение усталостной трещины происходит у основания зуба. На заготовках зубчатых колес обнаруживаются различные дефекты, ряд из которых связан недостаточной пластичностью обрабатываемой стали при сферодвижной штамповке.

Традиционно, основное внимание при сферодвижной штамповке уделяется режимам пластической деформации. Выполненный анализ результатов сферодвижной штамповки дает основание предположить существенную роль структуры цементуемой стали на результаты обработки.

Рисунок 1 – Заготовка конического зубчатого колеса после СФШ

Рисунок 2 – Выламывание 4 зубьев зубонакатывающей матицы из быстрорежущей стали

В литературе указанный фактор рассматривается крайне редко [2]. Серьезных исследований в этом направлении в доступном информационном фонде не обнаружено. Возможно, это связано с коммерческими соображениями разработчиков технологии сферодвижной штамповки.

В работе проведено исследование влияние структурных аспектов цементуемых сталей на деформируемость заготовок зубчатых колес при сферодвижной штамповке. Проводили изучение механических свойств и микроструктуры образцов, вырезных из заготовок после сферодвижной штамповки. Так же были использованы результаты анализов ЦЗЛ.

Очевидно, что холодная пластическая деформация при СФШ значительно упрочняет сталь. Так, для стали 20ХНР до пресса твердость составляет 156 НВ. После обработки она возрасла до 197 НВ. Исходная термическая обработка заготовки до штамповки обеспечила до 95% зернистого перлита по ГОСТ 8233-56. Для низкоуглеродистой цементуемой стали 12ХН3А твердость после аналогичной термической обработки была существенно ниже – 156 НВ. Структура пластического перлита для этой стали после нормализации обеспечила повышение твердости до 197 НВ.

Отмечено, что микротвердость заготовок после сферодвижной штамповки существенно различается в различных участках зубчатого профиля. На вершине зуба, в зоне относительно небольшой пластической деформации микротвердость составляет 1700–2000 МПа. Впадина зуба имеет существенно большую микротвердость – 3800–4200 МПа. Аналогичные результаты получены авторами [3]. Это свидетельствует об интенсивной пластической деформации вершины зуба и значительном деформационном упроч-

нении. Формирование впадины зубного профиля требует дополнительных усилий, нагрузки на матрицу возрастают пропорционально степени наклепа формируемого зубчатого профиля. Есть основание полагать, что уменьшение степени деформационного упрочнения зубчатого профиля может повысить долговечность формообразующего инструмента. В этой связи были проведены работы по анализу влияния исходной структуры и механических свойств заготовок на штампуемость цементуемых сталей при сферодвижной штамповке.

Применение более низкоуглеродистой стали 12ХН3А обеспечило некоторое повышение эффективности сферодвижной штамповки по сравнению со сталью 20ХН3А. Повышение количества избыточного феррита обеспечивает более высокую пластичность стали некоторое снижение усилия деформирования. Однако прямой корреляции между пластичностью исходной заготовки и результатами сферодвижной штамповки не обнаружено. Так степень наклепа после сферодвижной штамповки заготовок, подвергнутых полному отжигу, превосходит степень деформационного упрочнения заготовок, предварительно подвергнутых нормализации. Указанный факт не противоречит классическим представлениям металловедения. Наличие тонкопластинчатого сорбита обеспечивает равномерность пластической деформации и приемлемые значения деформационного упрочнения [4]. Анализ имеющейся экспериментальной информации позволяет полагать, что для сфердвижной штамповки существенным является не столько общий уровень исходной пластичности стали заготовки зубчатого колеса, сколько степень деформационного упрочнения и соответствующее ей увеличение усилий деформации, особенно на заключительных стадиях формирования зубчатого профиля.

Таким образом, исследованиями установлена неравномерная и значительная степень наклепа зубчатого профиля в результате холодного накатывания. Так, для стали 20ХНР твердость возрастает с 156 НВ до 197 НВ. Наибольший наклеп характерен для впадины зуба. Микротвердость может достигать значений 3800–4200 Мпа, в то время, как вершина зуба имеет микротвердость 1700–2000Мпа. Одной из возможных причин преждевременного выхода из строя формообразующего инструмента может является большая степень упрочнения профиля зуба при СФШ [5]. Влияние предварительной термической обработки перед СФШ неоднозначно. С одной стороны, отжиг обеспечивает минимальную твердость и высокую пластичность заготов-

ки. Однако склонность к деформационному упрочнению в этом случае значительна. Нормализация заготовки несколько повышает твердость, но при этом есть основания полагать, что суммарный наклеп в ряде случаев может быть меньше. Применение цементуемых сталей с меньшим содержанием углерода в ряде случаев может повысить долговечность технологической оснастки.

Литература

1. Востров В.Н. Современные технологии накатывания периодических профилей внутреннего зацепления / В.Н. Востров // Металлообработка. – 2011. № 3. – С. 36–41.

2. Аксенов Л.Б., Прочность сложнодеформирующего инструмента/ Л.Б.Аксенов, Л.В.Виноградов // Кузнечно-штамповое производство. – 1988. – № 9. – С. 6–9.

3. Wuhao Zhuang, Distribution of Microstructure and Vickers Hardness in Spur Bevel Gear Formed by Cold Rotary Forging/ Zhuang Wuhao, Hua Lin, Han Xinghui, Dong Liying // dx.doi.org/10.1155/2014/809276.

4. Золотаревский В.С**.** Механические свойства металлов / В.С. Золотаревский. – М.: Изд-во МИСиС, 1998. – 480 с.

5. Константинов В.М. Исследование структуры цементуемых легированных сталей при сферодвижной штамповке / В.М. Константинов, Д.Е. Епифанов, Н.В. Барисков // Металлургия : сб. науч. тр. – Мн.: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 223–228.

Константинов В.М., *Ткаченко Г.А.* Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

К ВОПРОСУ ИНТЕНИСФИКАЦИИ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ АЗОТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Стационарные (традиционные) процессы термической и химико-термической обработки металлов и сплавов наиболее распространены в промышленном производстве. Цементация, азотирование, закалка и отпуск отработаны, изучены и обеспечивают требуемые окончательные свойства сплава. Недостатком стационарных процессов является их ограниченное влияние на микро- и субструк-

туру материала, а следовательно, на комплекс эксплуатационных свойств готового изделия. В настоящее время активно проводятся исследования по структурообразованию сталей и цветных сплавов в условиях циклической химико-термической и термической обработки. В научно-исследовательских работах рассмотрены изменения в процессах диффузионного насыщения, структурного состояния и конструкционной прочности стальных изделий под действием многократных фазовых превращений с печным нагревом.

Циклический печной нагрев в процессе химико-термической обработки известен и установлены основные преимущества перед стационарным видом обработки. В ряде случаев, это увеличение в 1,2–2,0 скорости формирования диффузионного слоя за счет градиента термических и структурных напряжений в поверхностном слое и по сечению изделия. Равномерность распределения легирующих элементов, диспергирование фаз и микроструктуры слоя и основного металла, снижение напряженно-деформированного состояния и т.д.

В настоящее время наблюдается тенденция к переходу с газового азотирования на ионно-плазменное азотирование тяжело нагруженных деталей, изготовленных из различных марок сталей. При этом актуальным вопросом остается сокращение продолжительности процесса диффузионного насыщения азотом деталей и инструментов.

Сформировать диффузионный слой толщиной от 0,6 мм в течение 4–5 часов традиционными приемами, как правило, не представляется возможно в силу ограниченности скорости диффузии атомов азота в структуре основного металла. Значительной интенсификации диффузионных процессов можно достичь температурным воздействием на микроструктуру обрабатываемого материала, варьированием давления и составом насыщающей среды.

Сложность интенсификации азотирования заключается в низком коэффициенте диффузии ($0{,}35\times10^{-7}$ см^2/с) азота в железе, что обусловлено температурой процесса (450–650 °С). Повышение температуры процесса оказывает известное влияние на коэффициент диффузии, который возрастает до $0{,}7\times10^{-7}$ см^2/с, однако повышение температуры сопровождается разупрочнением стали и преимущественной диффузии углерода. Достигнуть искомого результата можно за счет изменения условий насыщения: воздействовать на металлическую матрицу либо изменять диффузионную среду.

Анализ многочисленных исследований процессов диффузии и диффузионного насыщения при ХТО [1, 3–6], а также процессов взаимодействия поверхности металлов со средой [1–4, 6], позволяет пола-

гать, что наиболее медленной стадией процесса ХТО является диффузия в металле. Анализ литературных данных по интенсификации твердофазной диффузии, позволил установить, что основную роль в ускорении процессов играют структурное состояние и неравновесное (метастабильное) состояние насыщаемого металла. Интенсификация лимитирующей стадии процесса ХТО достигается благодаря дисперсным структурам и субструктурам, которые обладают повышенной дефектностью, наличию в металле значительных внутренних напряжений, возникающих при воздействии температурных и силовых полей, приводящих к формированию условий, облегчающих процесс твердофазной диффузии. Одним из наиболее перспективных методов комплексного воздействия на диффузионные процессы и микроструктуру материала является термоциклическая обработка (ТЦО).

Под ТЦО следует понимать процесс термического воздействия, который осуществляется с заданной периодичностью теплосмен и определенной скоростью. В силу специфики процессов, происходящих в условиях непрерывного изменения температуры, в стали изменяется кинетика и механизм структурообразования, а также меняются свойства сплава и, следовательно, конструкционная прочность стальных изделий. В настоящее время известно множество технологических схем, по которым может осуществляться циклическая обработка. Выбор той или иной схемы ТЦО зависит от конечной цели проводимой операции, материала, способа и скорости нагрева. Для азотирования наилучшим образом подходит схема, которая заключается в совмещении термоциклического и химического воздействий, не предусматривающая фазовых превращений в процессе нагрева и охлаждения.

В авторских исследованиях по циклическому азотированию углеродистых сталей в порошковой среде с печным нагревом были определены некоторые режимы, которые обеспечивают небольшую интенсификацию насыщения.

Режим № 1 – заключался в нагреве стального образца до 600 °С, выдержке в течение 2 часов и переносе в печь с температурой 400 °С с выдержкой в 1 час. Режим № 2 – заключался в нагреве до 600 °С, выдержке 1 час и охлаждении в печи с температурой 400 °С с выдержкой в течение 0,5 часа. Режим № 3 – представлял собой нагрев до 600 °С с выдержкой 0,5 часа и охлаждение до 300 °С с непрерывным нагревом до исходной температуры. Продолжительность для всех режимов циклического азотирования составила 6 часов. При

азотировании образцов из стали 20 толщина слоя составила не более 0,1 мм в стационарном режиме.

Перед азотированием образцы из стали 20 были подвергнуты полному отжигу. В результате термической обработки получены равновесные структуры, соответствующие доэвтектоидным сталям (феррит и перлит).

Азотирование образцов из стали 20 по режиму № 1 привело к формированию диффузионного слоя толщиной 0,11 мм. Механические свойства слоя и металлической основы, а также толщина слоя определялись по распределению микротвердости образца (рис. 1).

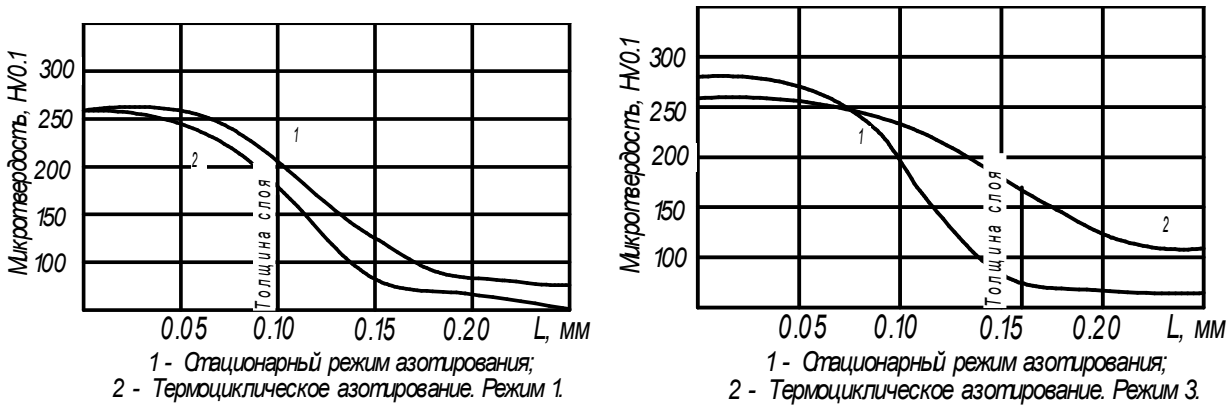


Рисунок 1 – Распределение микротвердости по толщине диффузионного слоя (образец стали 20)

В случае стационарного режима насыщения формируется диффузионный слой с равномерно распределенной микротвердостью. Максимальное значение твердости достигается на поверхности, а по мере прохождения слоя, плавно уменьшается к основной микроструктуре. На стали 20 повышение твердости заключается в выделении из феррита при комнатной температуре только α''-нитридов, что обеспечивает невысокую твердость.

При циклическом азотировании толщина слоя незначительно меньше всего лишь 0,15 мкм, что меньше на 0,05 мм стационарного процесса. Данный результат можно объяснить тем, что температурный градиент по сечению образца быстро нивелировался и формирования напряженно-деформированного состояния на поверхности образца не происходило. Отсутствие фазовых превращений должно компенсироваться растягивающими напряжениями в слое, под действием которых происходит интенсификация.

Диффузионное насыщение азотом по режиму № 3 дает больший градиент твердости по толщине слоя по сравнению со стационарным

режимом. Азотирование стали 20 в условиях циклического печного нагрева обеспечивает диффузионный слой твердостью 250 HV0.1 и толщину 0,15 мм. Механические свойства диффузионного слоя сформированного в стационарном режиме и в условиях циклического нагрева резко отличаются в области переходной зоны. Это обусловлено большей концентрацией азота на данном участке (см. рис. 1).

Образцы стали 20 после азотирования имеют микроструктуру феррито-перлитную. Четкого разделения между азотированным слоем и сердцевиной образца нет (рис. 2). Наличие слоя определяется только по твердости.

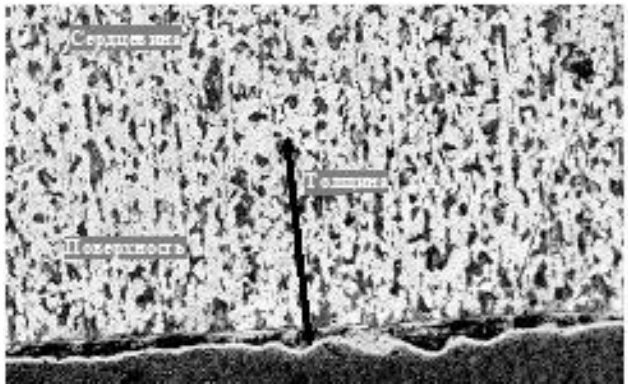


Рисунок 2 – Морфология микроструктуры поверхности и сердцевины стали 20 после циклического азотирования (×100)

Таким образом, термоциклическое азотирование углеродистых сталей обеспечивает интенсификацию роста диффузионного слоя, что выражается в формировании большей толщины (15–20%) за определенный временной интервал (8 часов). Механические свойства диффузионных слоев после термоциклирования выше на 200 HV0.1. Морфология азотированного слоя и сердцевины стали 20 не отличаются, так как растворимость азота в феррите невысокая 0,115%, поэтому дисперсных нитридов выделяется меньше.

Учитывая положительный опыт [1–6] интенсификации диффузионных процессов при азотировании с печным нагревом можно утверждать, что применение циклической ионно-плазменной термической обработки позволит сформировать диффузионный слой требуемой толщины за меньшее время.

Литература

1. Иващенко В.Ю. Использование термоциклирования для обработки штампов / В.Ю. Иващенко, А.П. Чейлях // Вісник Приазовського держ. техн. ун-та. – Маріуполь, 2011. – Серія: Технічні науки Вип. 22.

2. Кидин И.Н. Электро-химико-термическая обработка металлов и сплавов / И.Н. Кидин, В.И. Андрюшечкин, В.А. Волков. – М.: Металлургия, 1978. – 320 с.

3. ТкаченкоГ.А. Термическая обработка для одновременного повышения твердости и ударной вязкости стальных изделий / Г.А. Ткаченко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр.: в 3 кн. – Мн. ФТИ НАН Беларуси, 2014. – Т. 3. – С. 164–174.

4. ТканоГ.А. Влияние циклического нагрева на рост диффузионного слоя и механические свойства среднеуглеродистой стали / Г.А. Ткаченко // Перспективные материалы и технологии : мат. международ. науч.-техн. конф., 29 мая 2013 г., г. Витебск. – Витебск: ИТА НАН Беларуси, 2013. – С. 20–22.

5. Komarova F.F. The effect of steel substrate pre-hardening on structural, mechanical, and tribological properties of magnetron sputtered TiN and TiAIN coatings // F.F. Komarova, V.M. Konstantinovb, A.V. Kovalchukb et al. // Wear. – 2016. – V. 352-353. – P. 92–101.

6. Забелин С.Ф. Основы технологии и кинетической теории процессов диффузионного насыщения сталей в условиях термоциклического воздействия на материал: дис. д-ра техн. наук / С.Ф. Забелин. – Чита, 2004. – 254 с.

Константинов В.М., Щербаков В.Г. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ЧУГУННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

За более чем 25 лет Белорусскими учеными, под руководством чл. корр. НАН Беларуси Ф.И. Пантелеенко созданы и широко распространены в практике упрочнения и восстановления деталей машин диффузионно-легированные (ДЛ) сплавы из металлических отходов производства [1-2]. Данные ДЛ сплавы являются перспективными материалами для замены дорогостоящих ставших импортными сплавов (ФБХ-6-2, Сормайт) при индукционной наплавке токами высокой частоты (ТВЧ) изделий работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания [3].

Опыт применения ДЛ сплавов для наплавки ТВЧ обнаружил ряд недостатков, которые в дальнейших работах были устранены.

Первоначально для ДЛ применяли тупиковые барабанные печи с одним герметизируемым вращающимся контейнером дискретного действия. Указанные печи имели относительно низкую производительность из-за дискретности обработки единственного контейнера. В дальнейшем были разработаны и изготовлены для ряда заказчиков барабанные печи проходного типа (рис. 1, *а* и *б*) с поступательным перемещением в процессе обработки нескольких контейнеров из нержавеющей стали через различные зоны печи [4].

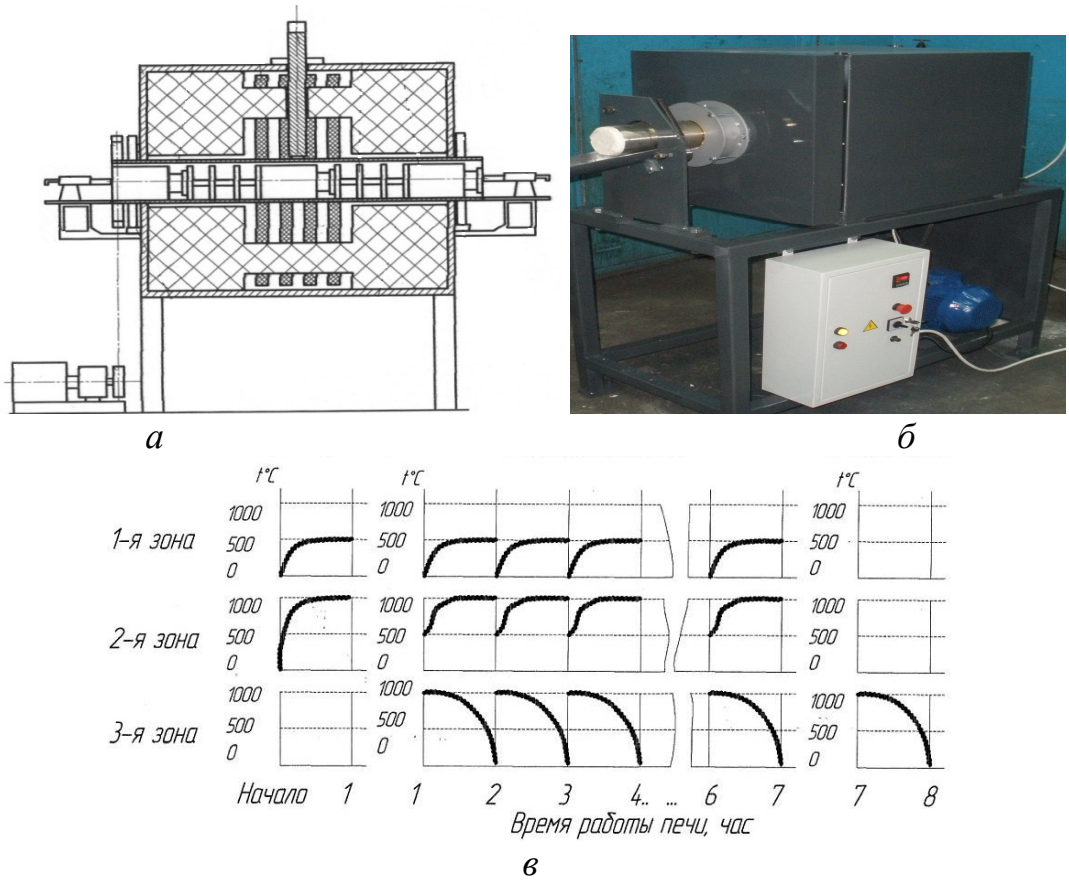


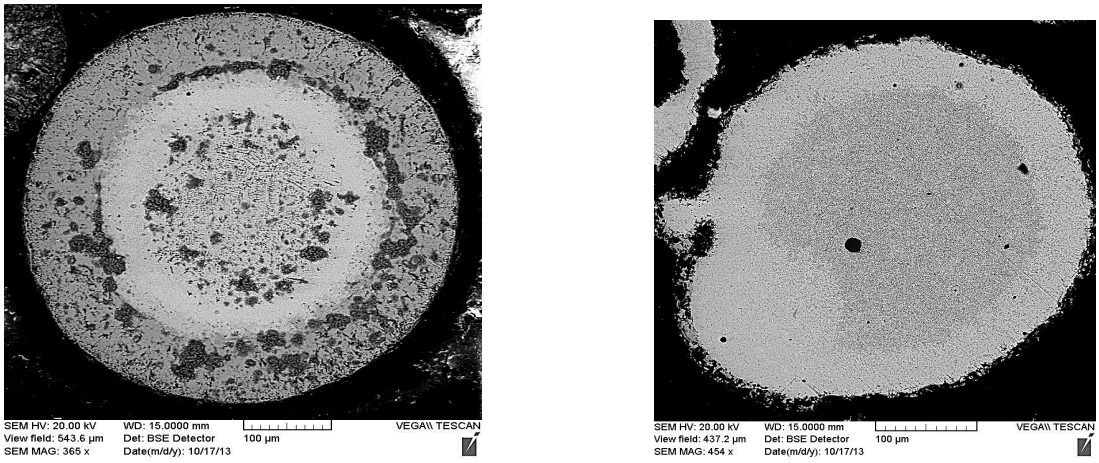
Рисунок 1 – Установка для ДЛ металлических отходов [4]:
а – схема установки; *б* – внешний вид установки;
в – температурно-временная схема работы установки

Промышленное использование разработанных печей потребовало проведения исследований по изучению повторяемости и стабильности результатов получения ДЛ сплавов при непрерывно-последовательном режиме обработки. В процессе получения ДЛ сплавов из металлических отходов использовали три и пять вращающихся контейнеров из нержавеющей стали. Температурно-временная схема работы установки с непрерывно-последовательной обработкой контейнеров (рис. 1, *в*) позволяет использовать и большее количество контейнеров в процессе работы установки. Процесс ДЛ металлических отходов производства в виде чугунной

дроби ДЧЛ 08 фракцией 400–630 мкм, проводился при температуре 950±20 °С и темпе толкания – 60±5 мин.

Полученные результаты подтвердили достаточную для производственных условий стабильность химического состава ДЛ сплава в различных контейнерах для всего требуемого диапазона размеров. [3]. Применение многоконтейнерной схемы и дискретно-последовательного режима обработки повысило производительность установки в 1,2–2,0 раза.

В дальнейшем, было установлено, что ДЛ сплавы из металлоотходов обладают относительно высокой температурой плавления, так как каждая гранулометрически самостоятельная частица содержит тугоплавкую боридную оболочку (1389 °С – Fe_2B и 1540 °С – FeB) и металлическое ядро. Это создает определенные трудности при низкотемпературных процессах наплавки ТВЧ. В ранее выполненных исследованиях было установлено предпочтительное наличие в боридной оболочке низкобористой фазы Fe_2B [1]. Однако такой вариант требовал специальных приемов для получения качественной наплавки ТВЧ. Использование нескольких циклов нагрева при наплавке ТВЧ также приводит к качественному расплавлению ДЛ сплава, однако требует наличие флюса. Теоретический анализ и экспериментальные работы позволили предложить технологический подход по снижению температуры плавления ДЛ сплавов для наплавки ТВЧ. Предварительная кратковременная высокотемпературная обработка (КВТО) ДЛ сплавов в плазме электрической дуги позволяет получить эвтектическую легкоплавкую оболочку или полностью эвтектическую структуру всей частицы (рис. 2) за счет частичного или полного оплавления ДЛ сплава [5].



а *б*

Рисунок 2 – Микроструктура ДЛ сплава на основе чугунной дроби [5]: *а* – после ДЛ бором; *б* – после КВТО

Для КВТО ДЛ сплавов использовали оригинальную установку на базе выпрямителя сварочного ВД 306 [6]. Установлено, что после КВТО в структуре ДЛ сплавов могут присутствовать: - локальные участки с эвтектической структурой между тугоплавкой оболочкой и металлическим ядром; - прослойки с эвтектической структурой различной толщины между тугоплавкой оболочкой и металлическим ядром; - ядро с эвтектической структурой со сплошными, либо фрагментарными участками тугоплавкой оболочки на поверхности.

Твердость наплавок из ДЛ сплавов составляет 850–950 HV, пористость незначительная и не превышает 1,0–1,5 %. Абразивная износостойкость покрытий из ДЛ сплавов в 2,5–3,0 раза выше, чем у стали 45, после закалки и низкого отпуска.

Технико-экономическая целесообразность проведения процесса КВТО подтверждена расчетами и установлено, что суммарное значение затраченной энергии при получении защитного покрытия из 1 кг ДЛ сплавов на основе отходов чугунной дроби на 4,5–7,2% ниже, чем без КВТО. Таким образом, энергозатраты для оплавления ДЛ сплавов снижают общие энергозатраты при получении защитного покрытия наплавкой ТВЧ [7].

Усовершенствована технология получения ДЛ сплавов для наплавки ТВЧ из металлических отходов производства. Разработано и запатентовано оборудование для получения ДЛ сплавов из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления. Данная технология позволяет формировать износостойкие наплавки толщиной 1,5–3,0 мм с минимальной (1,0–1,5%) пористостью и твердостью 850–950 HV.

Литература

1. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них / Пантелеенко Ф.И. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

2. Ворошнин Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. онстантинов. – Мн.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

3. Перспективные материалы и технологию В 2-х т. / А.В. Алифанов и др. – Витебск: УО «ВГТУ», 2017. – Т. 2. – 509 с.

4. Патент 15412 Респ. Беларусь. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала /

В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков // Афіцыйны бюл. «Нац. центр інтэлектуал. Уласнасці». – 2012. – № 1.

5. Щербаков В.Г. Диффузионно-легированные сплавы из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой токами высокой частоты / В.Г. Щербаков // Литье и металлургия. – 2016. – № 4(85). – С. 89–96.

6. Патент № 10051 Респ. Беларусь. Установка для обработки металлического порошка / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. ербаков // Афіцыйны бюл. «Нац. центр інтэлектуал. Уласнасці». – 2014. – № 2.

7. Щербаков В.Г. Некоторые особенности формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой диффузионно-легированными сплавами из металлических отходов производства / В.Г. Щербаков // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. в 3 кн. – Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 2016. – Кн. 1. Материаловедение. – С. 278–286.

Корешков В.Н., Чуйко М.Г. Евразийская экономическая комиссия, Москва, Россия
Хейфец И.М. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ НЕВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, С УЧЕТОМ ОШИБОК КЛАССИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ

Постоянно растущие на предприятии номенклатура изделий, количество применяемых инструментов и получаемых при обработке поверхностей деталей, делают процессы формирования ограничительных перечней, унификации инструментов и элементов деталей весьма трудоемкими. Поэтому задача определения рациональной выборки из генеральной совокупности конструктивно-технологических элементов, деталей и инструментов в условиях их периодической смены при переналадке производства особенно актуальна.

В такой ситуации наиболее целесообразен путь постепенного формирования базы данных и периодической статистической обра-

ботки информации с целью получения ограничительных перечней. Процесс пересмотра информации может быть закончен, когда последующий получаемый ограничительный перечень совпадает с предыдущим. Процесс может быть существенно сокращен, если формирование и изменение базы данных осуществлять в соответствии с определенными приоритетами, такими как серийность производства, величина партий деталей, степень сложности изделий, периодичность, стабильность заказов и др.

Для статистической обработки информации необходимо рассматривать распределение по таким параметрам унификации, как частота встречи конструктивно-технологических элементов и продолжительность использования инструментов, которые зависят от основных факторов: размеров, степени точности, качества поверхности. При этом для наглядности строятся гистограммы распределения или полигоны частот определенных параметров в зависимости от технологических факторов.

При формировании ограничительных перечней рациональными для унификации являются позиции, в окрестностях которых распределения частот носят случайный характер, то есть вблизи которых не происходит наложение каких-либо закономерных особенностей конструктивного или технологического характера. Поэтому целесообразно при формировании ограничительного перечня проводить проверку соответствия распределений частот в окрестности принятого значения одному из законов распределения случайных величин.

В каждом случае имеется свой механизм возникновения суммарной погрешности, отклонения и, следовательно, свое соотношение между погрешностями различных видов. Поэтому обычно закон распределения в окрестности каждой позиции весьма индивидуален. Однако во многих случаях и особенно тогда, когда погрешности модели невелики, удается высказать соображения в пользу того или иного закона распределения, параметры которого определяются из опыта. Эти соображения связываются, прежде всего, с предельными теоремами теории вероятностей и рядом теорем, опирающихся на представления теории информации.

Среди большого числа предельных теорем, важнейшей для теории ошибок является так называемая, центральная предельная теорема или теорема Ляпунова. Она утверждает, что сумма независимых случайных величин, таких, что удельный вес каждого отдельного слагаемого стремится к нулю при неограниченном увеличении числа слагаемых, в пределе распределена по нормальному закону.

Так как в процессе измерений происходит суммирование большого количества погрешностей разнообразного происхождения (инструментальных, личных, внешних и др.), то, учитывая центральную предельную теорему, есть основания надеяться, что суммарная погрешность будет распределена по нормальному закону.

Обычно предполагается, что точность измерения параметра известна и на всем протяжении эксперимента не меняется. Но во многих реальных ситуациях, особенно тогда, когда велики погрешности модели и присутствуют ошибки классификации и кодирования, это предположение выглядит необоснованным. Поэтому естественно высказать более осторожное суждение, состоящее в том, что основная точностная характеристика измерения – среднеквадратическое отклонение, известна лишь в среднем. Это же иногда целесообразно предполагать и в тех случаях, когда погрешности модели невелики, а ошибки классификации и кодирования отсутствуют, но точность параметров определена недостаточно надежно.

В этих случаях, предположение о распределении погрешностей измерений по закону Лапласа является более осторожным, чем предположение о нормальном законе, когда точностные характеристики измерений неизвестны или нестабильны.

Таким образом, статистическая обработка данных при достаточной репрезентативности выборки и соответствии предложенных для унификации позиций максимумам на гистограммах, полигонах частот или кривых распределения рекомендуется на основе использования нормального закона распределения случайных величин или закона Лапласа для случаев, когда измеряемые характеристики нестабильны, точность измерений неизвестна или встречаются ошибки классификации и кодирования;

Кристаль М.Г. Волгоградский государственный
технический университет, Волгоград, Россия

ВРЕМЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

При сборке прецизионных соединений по методу групповой или межгрупповой взаимозаменяемости требуется производить измерение сопрягаемых поверхностей с последующей сортировкой

деталей на размерные группы. В зависимости от конкретных условий величина группового допуска *IT*гр может достигать значений в пределах 5–10 мкм. Это определяет требования к допустимой погрешности δ средств измерения, которая в соответствии с [1], не должна превышать 1,4–1,6 мкм. В некоторых случаях, в соответствии с используемым технологическим процессом, эта погрешность может устанавливаться как (0,1–0,2) *IT*гр. При этом необходимо, чтобы измерения выполнялись операторами в цеховых условиях. Для достижения такой малой погрешности δ целесообразны косвенные методы измерения, основанные например, на так называемом временном преобразовании линейного размера в некоторый временной интервал, который вторичными приборами может быть измерен таймером с очень высокой точностью. Процесс временного преобразования может быть выполнен как при помощи механико-электронных, так и пневмо-электронных измерительных устройств.

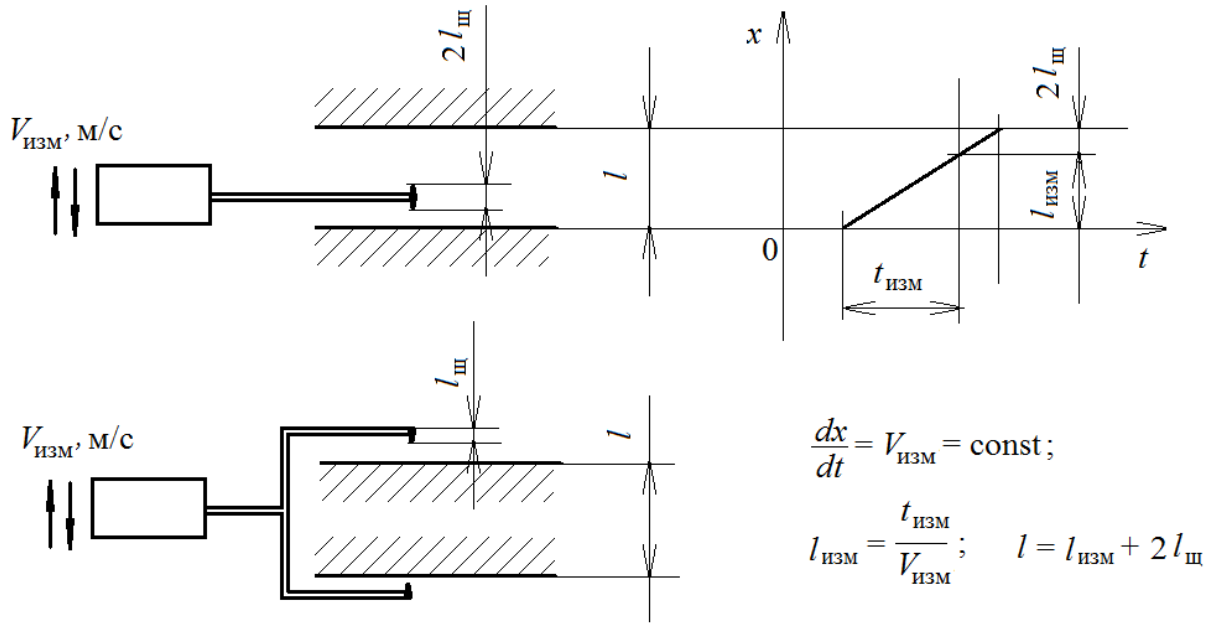


Рисунок 1 – Временное преобразование при измерении размеров внутренних и наружных поверхностей

На рис. 1 показано, что при постоянной величине скорости $V_{изм}$ движения измерительного щупа величина измеряемого размера l будет определяться суммой

$$l = l_{изм} + 2l_щ,$$

где $l_{изм}$ – величина, пропорциональная времени $t_{изм}$ измерения и обратно-пропорциональна скорости $V_{изм}$ перемещения измерительного щупа; $l_щ$ – размер наконечника измерительного щупа.

Использование пневматики при высокоточных измерениях сопряжено с рядом негативных воздействий: таких как колебания температуры рабочей среды (сжатого воздуха) и колебания давления $p_р$ питания. Если влияние температуры можно исключить при помощи локальной системы автоматической стабилизации ее, то проблема колебания давления $p_р$ была нами решена введением дополнительного верхнего порогового уровня $p_в$ давления, меньшего по величине номинального значения $p_р$.

Одно из разработанных нами [2–4] пневмо-электронных устройств временного преобразования при измерении наружного диаметра цилиндрической детали приведено на рис. 2.

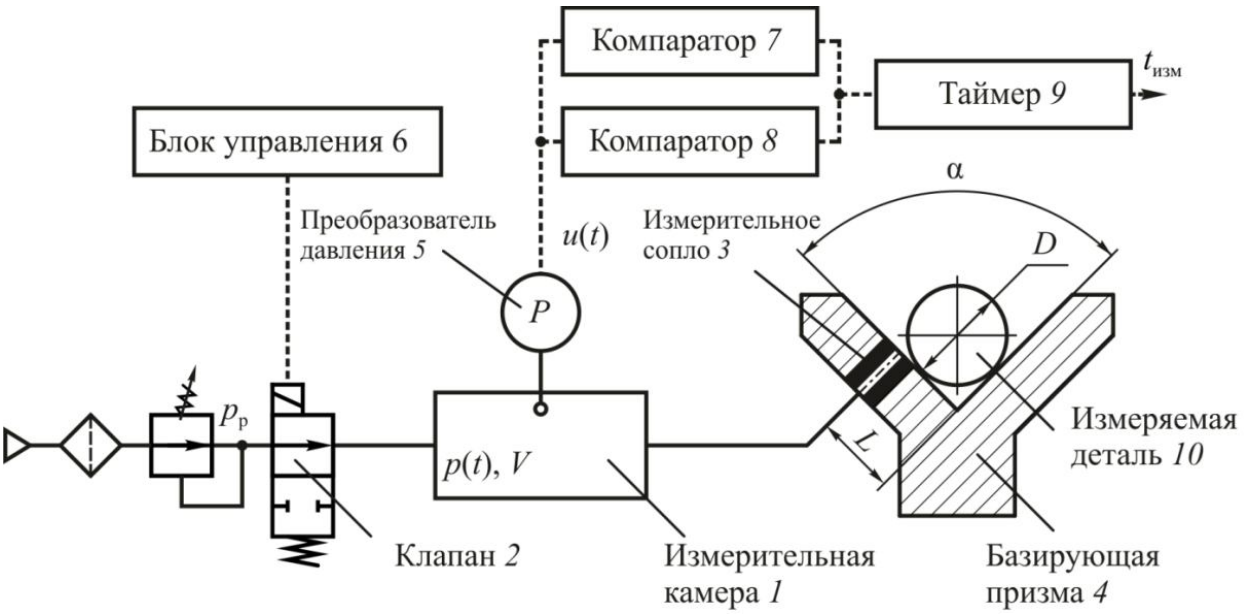


Рисунок 2 – Пневмо-электронное устройство временного преобразования (УВП)

В состав предложенного УВП входят измерительная камера *1* (ИК), клапан *2*, измерительное сопло *3*, базирующая призма *4*, пневмоэлектрический преобразователь (ПП) *5*, блок *6* управления (БУ), компараторы *7* и *8*, таймер *9*. ИК *1* объемом *V* соединена с источником сжатого воздуха через канал клапана *2* и с атмосферой через измерительный зазор, образованный срезом измерительного сопла *3* диаметром *d* и поверхностью измеряемой детали *10* диаметром *D*. Сопло *3* установлено в боковой поверхности призмы *4* так, что его срез лежит в плоскости этой поверхности, а его ось ей перпендикулярна. При этом сопло *3* смещено от вершины призмы на расстояние *L* и от линии касания рассматриваемой боковой поверхности призмы *4* с деталью *10* наибольшего в измерительном

диапазоне диаметра $D_{макс}$ на расстояние L. БУ *6* формирует команды открытия и закрытия клапана *2*. ИК *1* объединена с камерой ПП *4*, который выполняет непрерывное преобразование величины давления $p(t)$ воздуха в ней в электрический сигнал $u(t)$. Этот сигнал поступает на входы компараторов *7* и *8*, которые срабатывают при $u(t_в) = u_в \sim p_в$ и $u(t_н) = u_н \sim p_н$, соответственно. Компаратор *7* осуществляет запуск таймера *9*, а компаратор *8* – его останов.

Измерение осуществляется следующим образом. В начале измерительного цикла клапан *2* открыт, и сжатый воздух с рабочим давлением $p_р$ поступает от стабилизированного источника в ИК *1* и истекает в атмосферу через измерительный зазор, образованный срезом измерительного сопла *3* и поверхностью измеряемой детали *10*.

В момент времени t_0 БУ *6* закрывает клапан *2*, в результате чего ИК *1* отключается от источника сжатого воздуха. Воздух с давлением $p(t_0) = p_р$, оставшийся в ИК *1*, продолжает истекать в атмосферу через измерительный зазор. В момент времени $t_в$ давление $p(t)$ воздуха в ИК *1* уменьшается до верхней границы $p_в$ интервала $[p_н; p_в]$, в результате чего срабатывает компаратор *7*, запускающий таймер *9*. Затем в момент времени $t_н$ давление $p(t)$ уменьшается до нижней границы $p_н$ интервала $[p_н; p_в]$. При этом срабатывает компаратор *8*, останавливая таймер *9*.

Так таймер *9* измеряет время $t_{изм} = t_н - t_в$, в течение которого давление $p(t)$ воздуха в ИК *1* изменялось в границах установленного интервала $[p_н; p_в]$. Величина $t_{изм}$ пропорциональна измеряемому диаметру D и используется для его получения его оценки $\hat{D}$ в соответствии с заданной функцией $\hat{D} = f(t_{изм})$ преобразования.

Экспериментальная проверка работы предложенного устройства показала его высокую работоспособность и низкую погрешность, порядка 0,27–0,30 мкм в диапазоне изменения измеряемых диаметров деталей до 250 мкм.

Отдельную задачу представляют методы временного преобразования внутренних диаметров отверстий, над разработкой которых трудится в настоящее время наш коллектив.

Литература

1. ГОСТ 8.051–81. ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.

2. Плешаков А.А. Кристаль М.Г. Precision of Time Conversion of the Linear Dimensions of a Part in a Pneumatic Measuring Device with

Variable Output Throttle / А.А. Плешаков, М.Г. Кристаль // Measurement Techniques. – 2016. – V. 59, № 1. – С. 28–33.

3. П.м. 161311 РФ. Пневмо-электронное устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / А.А. Плешаков, М.Г. Кристаль. – ВолгГТУ, 2016.

4. П. м. 161313 РФ. Пневмо-электронное устройство для контроля и сортировки деталей по линейным размерам / А.А. Плешаков, М.Г. Кристаль. – ВолгГТУ, 2016.

Кузьмин В.И., Сергачев Д.В. Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, Россия,
Руденская Н.А. Филиал БНТУ «ИПКиПК», Минск,
Соколова Н.В. Полоцкий Государственный университет, Полоцк, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХЗВУКОВЫМ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Порошки из самофлюсующихся сплавов Ni-Cr-B-Si и Co-Cr-B-Si широко применяют для упрочнения и восстановления различных деталей защитными покрытиями. Оплавление является необходимой стадией процесса формирования покрытий из самофлюсующихся сплавов. На этой стадии образуется дисперсно-упрочненная структура напыленных слоев, существенно повышается их качество за счет снижения пористости и обеспечивается адгезионная прочность на уровне наплавленного материала.

В данной работе обобщены результаты исследований покрытий из никелевых сплавов на примере двух типов: используемого без оплавления и самофлюсующегося, после напыления которого обычно необходимо проводить последующее оплавление. Покрытия из порошков никелевых сплавов ПН-85Ю15М и ПР-Н77Х15С3Р2-3 дисперсностью 40–100 мкм наносили плазменным методом с помощью плазмотрона постоянного тока ПНК–50. Подачу порошка в поток плазмы осуществляли через кольцевую щель с последующей его газодинамической фокусировкой. Покрытия из самофлюсующегося сплава не подвергали последующему оплавле-

нию. Сравнительный анализ свойств покрытий, полученных с помощью дозвуковой и сверхзвуковой плазмы показал, что в результате сверхзвукового напыления порошков ПН-85Ю15М и ПР-Н77Х15С3Р2-3 при кольцевой их транспортировке в поток ионизированного газа получены покрытия с необычно высокими значениями твердости и износостойкости в сравнении с покрытиями из этих материалов, сформированными с помощью дозвукового плазмотрона (табл. 1)

Таблица 1 – Характеристики покрытий, сформированных с помощью дозвуковой и сверхзвуковой плазмы

Материал покрытия	Твёрдость, HRC		Относительная износостойкость		Адгезия	
	паспортные данные (дозвуковое напыл.)	сверхзвуковое напыл.	дозвуковое напыл.	сверхзвуковое напыл.	дозвуковое напыл.	сверхзвуковое напыл.
ПН-85Ю15М	35	56-59	0,87	Не изнашивается	При мех. обработке возможен срыв покрытий	При мех. обработке покрытия не срываются
ПР-Н77Х15С3Р2-3	37–42	63–67	0,9			

Для выяснения причин таких высоких характеристик покрытий рассмотрим особенности структурообразования покрытий на примере сплава ПН-85Ю15М, который напыляют без последующего оплавления. Частицы исходного порошка являются сферическими и плакированными (рис. 1), то есть ядра сферической формы покрыты оболочками. Оболочки встречаются равномерные и фрагментарные, прочно соединенные с ядром частиц и с неудовлетворительной адгезией. Ядра и оболочки частиц характеризуются однородной структурой. Данные микрорентгеноспектрального анализа (рис. 2) также свидетельствуют о равномерном распределении ни-

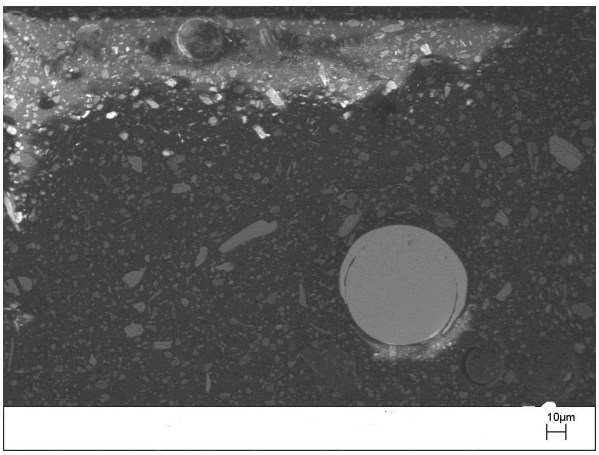
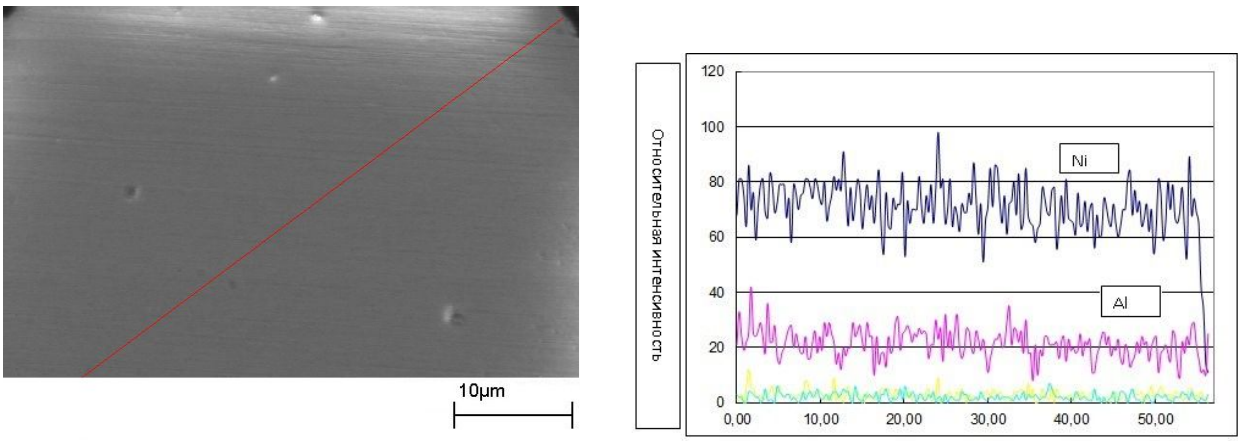


Рисунок 1 – Микроструктура плакированной частицы порошка ПН-85Ю15М

келя и алюминия вдоль линии сканирования поперечного сечения частиц порошка ПН-85Ю15М. Локальный количественный анализ показал, что в ядрах частиц порошка ПН-85Ю15М содержится алюминия на 7,82% меньше и, соответственно, никеля на 7,82% больше в сравнении с оболочками.



а *б*

Рисунок 2 – Микроструктура (*а*) и сканограмма (*б*) качественного распределения элементов в частице порошка ПН-85Ю15М

В структуре покрытий (рис. 3) выделены светлые и темные фазы, и в темных и светлых фазах напыленных слоев значительно возрастает, по сравнению с исходным порошком, содержание никеля, а алюминия, соответственно, уменьшается; одновременно появляется кислород. Присутствие кислорода свидетельствует о частичном окислении напыляемых порошков. Следует отметить, что количество темных фаз существенно превосходит количество светлых фаз. Учитывая композиционную структуру исходных (плакированных) частиц, а также присутствие в структуре покрытий недеформированных фаз почти сферической формы темного цвета, можно утверждать, что темные фазы в покрытиях формируются из ядер исходных частиц, а светлые фазы – из их оболочек. Толщина микрослоев в покрытиях составляет в основном 0,47–25,00 мкм. Эпизодически встречаются недеформированные частицы размером 56–70 мкм. Детальные исследования структуры светлых и темных фаз покрытий позволили обнаружить ячеистую структуру рассматриваемых фаз. На рис. 4 представлен фрагмент ячеистой структуры темного включения. Размер отдельных ячеек составляет 1–3 мкм – 1,56–13,3 мкм, при толщине перемычек в них от 0,100 до 0,833 мкм; изредка на перемычках встречаются утолщения размером 1,278–1,556 мкм. Определить состав таких тонких фаз, как перемычки ячеек, не представляется возможным. Можно

лишь предположить, что ячеистая структура включений сформирована на основе интерметаллида Ni_3Al. Присутствие этой фазы в покрытиях установлено рентгенофазовым анализом. Ячеистые структуры описаны впервые в [1].

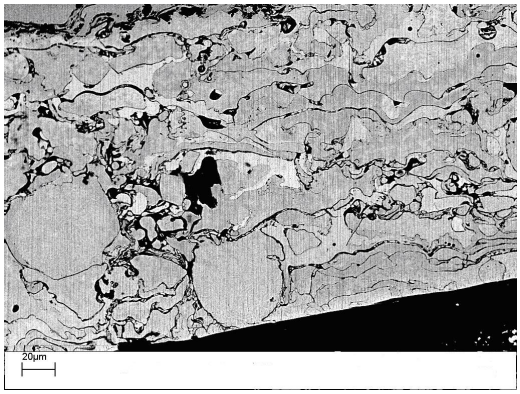


Рисунок 3 – Микроструктура покрытия из порошка ПН-85Ю15М

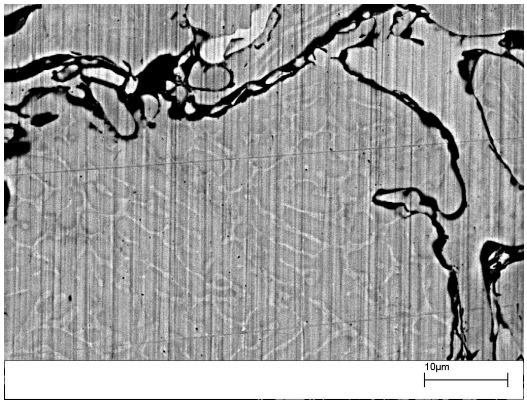


Рисунок 4 – Фрагменты ячеистой структуры

Здесь надо обратить внимание еще на одну особенность микроструктуры покрытия из порошка ПН-85Ю15М: присутствие зерен сферической формы, размер которых в 60–130 раз меньше размера частиц исходного порошка. По-видимому, процесс измельчения напыляемых частиц происходит по механизму импульсного деления сфероидов в плазменном потоке [2], обнаруженного нами ранее. Металлографические исследования частиц, обработанных в плазменном потоке, подтверждают высказанное предположение: на большей части сферических частиц обнаружены сфероиды значительно меньших размеров. Кроме того, в общей массе частиц их размер значительно меньше исходных. Таким образом, можно утверждать, что процесс импульсного деления сфероидов в плазменном потоке играет существенную роль в модифицировании структуры покрытий, в частности, в уменьшении размеров ее фрагментов.

Исходя из полученных результатов, аномально высокие свойства покрытий, сформированных потоком сверхзвуковой плазмы, можно объяснить следующим образом. Кольцевая транспортировка частиц в плазменный поток обеспечивает их равномерный нагрев, что, вместе с высокой скоростью высокотемпературного гетерогенного потока, создает такие термомеханические условия осаждения частиц на поверхности стали, при которых в момент удара о подложку реализуются высокие давления в частицах (до 4000 МПа). Критические значения импульса давления в частицах вызывают

аномальные скорости деформации нагретых фрагментов и растекания расплавленных фрагментов частиц, что, в свою очередь, является причиной их высоких скоростей охлаждения. Быстрое охлаждение монослоев приводит к существенному измельчению структуры расплавленных фрагментов. А большое количество межзеренных границ лежит в основе значительного повышения твердости и износостойкости покрытий. Кроме того, кольцевая подача частиц и их газодинамическая фокусировка создают условия для более интенсивного импульсного деления сфероидов, что приводит к более значительному измельчению частиц в плазменном потоке, чем при точечной подаче порошка.

Литература

1. Швейкин Г.П. / Г.П. Швейкин, Н.А. Руденская, Н.В. Соколова и др. // Доклады академии наук. – 2015. – Т. 463, № 3. – С. 309–312.

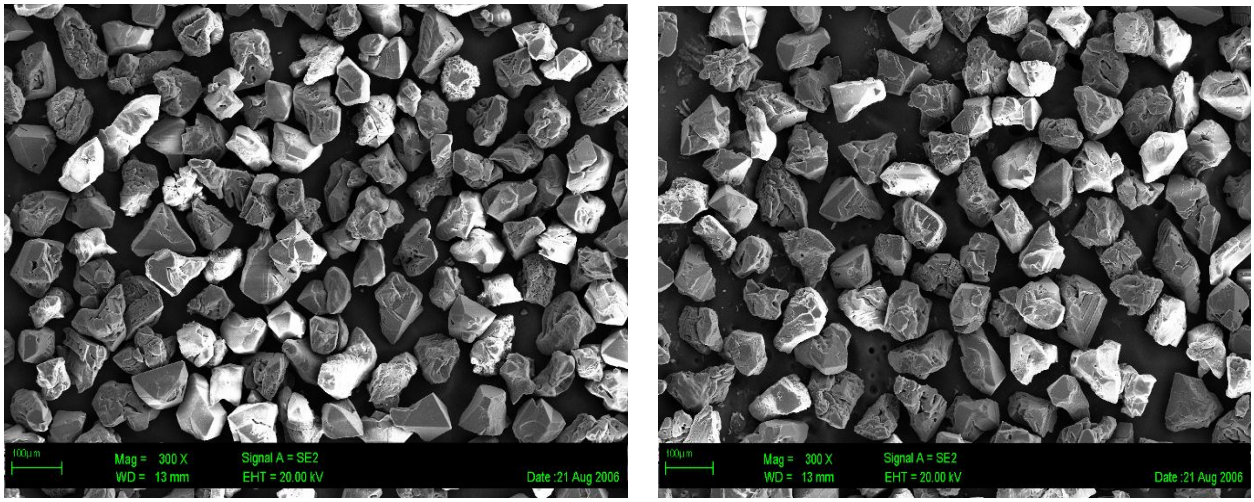
2. Руденська Н.А. / Н.А. Руденская, Г.П. Швейкин, Н.В. Соколова и др. // Доклады Академии наук.– 2009. – Т. 429, № 1. – С. 76–78.

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Пасичный О.О., Смоквина В.В., Зайцева И.Н., Тимошенко В.В.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Одним из важнейших путей достижения более высокого класса обрабатываемой поверхности изделий и увеличения износостойкости алмазного инструмента является применение шлифпорошков алмаза с большим содержанием основной фракции и высокой однородностью по зерновому составу [1]. В данной работе исследования проведены на шлифпорошках алмаза марки АС6 зернистостью 100/80. Для получения порошков алмаза узкой зернистости проводили дополнительную ситовую классификацию на наборе сит с размерами отверстий ячеек сит, уменьшающимися по геометрической прогрессии [2]. Для разделения предусматривается в процессе ситовой классифика-

ции зернистого материала использовать набор сит с размерами отверстий ячеек сит, представляющими собой ряд геометрической прогрессии из двадцатого ряда чисел со знаменателем изменения размера ячейки сита $\sqrt[20]{10} = 1{,}122$ (R-20). Был составлен набор сит для рассева алмазов с получением узких зернистостей 100/90, 90/80 и 80/72. Шлифпорошки алмаза узких зернистостей разделяли по форме на вибростоле. Алмазы зернистостей 100/90, 90/80 и 80/72 с коэффициентом формы менее ($К_ф$ = 1,20) для проведения овализации зерен подвергались термохимической обработке с помощью сильных окислителей. На рис. 1 показаны шлифпорошки алмаза марки АС6 зернистостей 100/80 (рис. 1, *а*) и 100/90 после овализации (рис. 1, *б*).



а *б*

Рисунок 1 – Шлифпорошок алмаза марки АС6 100/80 исходный (*а*) и после дополнительной сортировки химической овализации поверхности зерен (*б*) (×300)

В полученных после сортировки порошках алмаза определяли содержание основной фракции ситовым методом, коэффициент формы ($К_ф$) по методикам ДСТУ 3292, однородность по линейным размерам ($К_{одн.л-р}$), дефектность поверхности по коэффициенту поверхностной активности ($К_а$) по методикам разработанным в Институте сверхтвердых материалов. Эксплуатационные показатели работоспособности алмазных кругов с применением указанных алмазов оценивали по относительному расходу алмазов (q,) и шероховатости обработанной поверхности *Ra* (табл. 1).

Дополнительная сортировка алмазов зернистости 100/80 позволили увеличить содержание основной фракции и однородность порошков алмаза по линейным размерам зерен не менее чем на 15%, что обеспечило снижение относительной потери алмазов приблизи-

тельно на 20% и снижение шероховатости обрабатываемой поверхности не менее чем на 5%.

Таблица 1 – Характеристики алмазов марки АС6 зернистости 100/80

Зернистость	Содержание основной фракции, %	P, Н	$K_{ф}$, усл.ед	$K_{одн. л-р}$ %	$K_{а}$, %	q, мг/г	Ra, мкм
100/80 исх.	73,1	7,2	1,34	34,4	0,45	5,02	0,16
100/90	80,5	8,4	1,24	51,4	0,65	4,11	0,15
90/80	85,8	8,7	1,25	54,6	–	–	–
80/72	84,7	7,4	1,21	53,8	0,61	–	–
100/90 после химической овализации	87,6	7,9	1,19	59,5	0,86	3,58	0,12

Проведение овализации зерен алмаза зернистости 100/90 позволило увеличить дефектность (развитость) поверхности зерен алмаза зернистостей 100/90 не менее 40% позволило снизить относительный расход алмазов снизить на 40%, а шероховатость обрабатываемой поверхности на 30%.

Таким образом, проведение дополнительной сортировки алмазов марки АС6 зернистости 100/80, получение узкой зернистости 100/90 и овализации зерен алмазов позволило увеличить содержание основной фракции и коэффициент однородности по линейным размером, что позволило снизить относительный расход алмазов и шероховатость обрабатываемой поверхности и увеличить эффективность работы шлифовального инструмента.

Литература

1. Ilnitskaya G. Increase of linear size uniformity of synthetic diamond grinding powder / G. Ilnitskaya, a G. Bogatyrev, N. Novikov et al. // J. Phys.: 2008.– Conf. Ser. 121, V. 121.

2. Патент України 69947 А. Спосіб одержання шліфпорошків вузької зернистості / Невструєв Г.Ф., Ільницька Г.Д. – Бюл. «Пром. власність». – 2004. – № 9.

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Шатохин В.В.,
Пасичный О.О., Смоквина В.В., Зайцева И.Н.
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ДОБАВКАМИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭКПСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

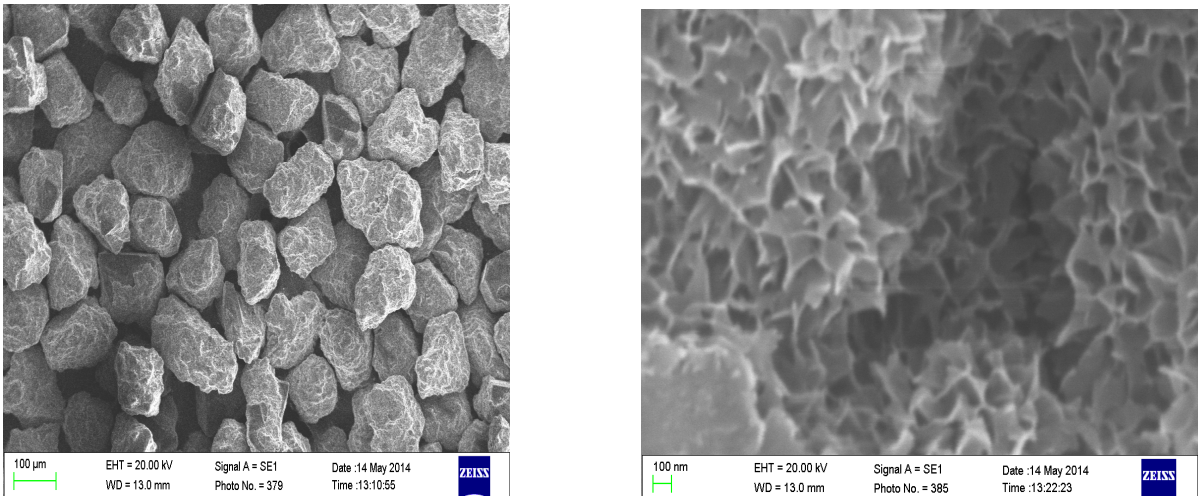
Развитие инструментального производства, необходимость в обработке новых труднообрабатываемых материалов, поиск путей энергосбережения диктует потребность получения композиционных покрытий на зернах шлифпорошков сверхтвердых материалов с новыми свойствами. Так, одним из путей повышения износостойкости алмазно-абразивного инструмента и улучшения удержания зерен в рабочем слое является металлизация их различными покрытиями [1, 2]. Ранее проведенными исследованиями установлено, что основными из факторов, определяющих алмазоудержание, являются, граничное химическое взаимодействие с элементами покрытия при высокотемпературном изготовлении инструментов на металлических связках, во-вторых, диффузионное взаимодействие на границе покрытие-связка. [2]. В инструменте на полимерных и металлополимерных связках химическое взаимодействие происходит на границе металл покрытия–полимер. При этом, чем более шероховатое покрытие, тем больше площадь поверхности и эффективность этого взаимодействия.

Поэтому целью настоящей работы явилось исследование влияния добавок порошков углеродных нанотрубок (УНТ) в металлизированные покрытия синтетических алмазов марки АС20 зернистости 100/80 на свойства покрытия и износостойкость шлифовального инструмента с алмазными зернами с такими покрытиями.

Металлизированные методом химического восстановления Ni (25 масс. %) порошки алмаза марки АС20 зернистости 100/80 с добавками УНТ не более 2 масс. %, затем 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 850 ^{o}C. Степень металлизации алмазов с композиционным покрытием составляла 70–75 масс.%. Высушенные образцы спекали в печи в воз-

душной среде при температуре 850 °С. Степень металлизации алмазов с композиционным покрытием составляла 70–75 масс.%. Исследование физико-химических характеристик проводили на масс-спектрометре МИ 1201. Электронномикроскопические исследования осуществляли на электронном микроскопе ZEISS ULTRASS.

С помощью электронно-микроскопического анализа исследовали структуру композиционных покрытий металлизированных алмазов. Ниже представлен общий вид алмазов марки АС20 100/80, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al с добавками порошков УНТ (рис. 1).



а *б*

Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение алмазов марки АС20 100/80, металлизированных композиционным покрытием: Ni-Alc добавками УНТ: *а* – общий вид металлизированного порошка, *б* – структура поверхности покрытия

Как следует из рисунка на зернах алмаза, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al с добавками УНТ, сформирована плотная структура. Причем при добавлении УНТ в структуре покрытия просматривается скелетная структура углеродных нанотрубок (рис. 1, *б*).

Для получения информации о состоянии поверхности шлифпорошков марки АС20 зернистости 100/80 исходных и металлизированных Ni композиционным покрытием Ni-Al с добавками УНТ были сняты термодесорбционные спектры.

В результате выполненных исследований установили, что поверхности всех образцов металлизированных алмазов полностью покрыты большим количеством ОН-групп, которые десорбируясь с поверхности алмазов, создают молекулы воды.

Присутствие воды в порошках алмаза тесно связано с их удельной площадью поверхности. На исходном образце фиксируется наименьшее содержание воды в образце и меньшая удельная площадь поверхности порошков алмаза. Создание на поверхности алмазов металлизированных Ni и композиционным покрытием Ni-Al, добавки УНТ способствует образованию более развитой поверхности, о чем свидетельствует наибольшее наличие воды по сравнению с исходными порошками.

Порошки алмаза марки АС20 зернистости 100/80 исходные, металлизированные Ni и Ni–Al с добавками УНТ были использованы для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов:

1. 12А2-45° 100×5×3×32 – АС20 100/80 В2-08-100 исходный

2. 12А2-45° 100×5×3×32 – АС20 100/80 В2-08-100 Ni-26,6% + УНТ

3.12А2-45° 100×5×3×32 – АС20 100/80 В2-08-100 Ni(26,6%)+Al (30,7%) + УНТ.

Испытания проводились на станке 3В642 при шлифовании образцов из твердого сплава ВК6 размерами 7х15х60 мм при производительности шлифования от 100 до 400 мм^3/мин. Скорость шлифования 18 м/с, поперечная подача – 0,05 мм/дв.х., продольная рабочая подача стола – от 1,42 до 11,42 м/мин, подача холостого хода (на обратном ходу) — в два раза быстрее. Фиксировали относительный расход алмазов в кругах в карат/г и показатели шероховатости обработанной поверхности по высотным и шаговым параметрам, с построением опорной кривой и показателям полноты профиля на уровне линий t_{20} и t_{50}. Износостойкость кругов оценивали по расходу алмазов. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний шлифовальных кругов при разной производительности обработки

№ круга	Производительность обработки, мм^3/мин			
	50	100	200	400
	Расход алмазов, карат/г			
1	0,162	1,32	1,70	1,81
2	0,027	0,03	0,52	1,20
3	0,057	0,11	0,13	1,10

Как следует из таблицы, расход алмазов металлизированных Ni и Ni–Al с добавками УНТ в шлифовальных кругах при шлифо-

вании твердого сплава существенно ниже по сравнению с кругами с исходными алмазными порошками без покрытия. При этом, данный эффект повышения износостойкости кругов более ощутим на меньших производительностях обработки, а с повышением производительности он несколько снижается, но остается достаточно ощутимым. Так, даже для 400 мм^3/мин повышение износостойкости кругов составляет 1,5–1,6 раза.

Таким образом, установлено, что добавки УНТ при металлизации алмазов марки АС20 зернистости 100/80 способствуют повышению износостойкости шлифовальных кругов металлизированных Ni и композиционным покрытием Ni–Al за счет образование скелетной структуры покрытия и увеличения удельной площади поверхности металлизированных алмазов.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6 т. / Под общей ред. Н.В. Новикова. – Т. 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях механообработки / Под ред. А.А. Шепелева. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2007. – 340 с.

2. Лавриненко В.И. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енцикл. довідник / В.И. Лавриненко, М.В. Новіков. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.

Лавриненко В.И. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев
Молчанов В.Ф., Солод В.Ю., Бурчак О.О. Днепровский государственный технический университет, Каменское,
*Проц Л.А.*Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород, Украина

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ШЛАМА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЦАРАПИН НА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В современном машиностроении при механической обработке деталей машин постоянно происходит совершенствование технологий с целью повышения качества и снижения себестоимости про-

дукции. В связи с повышенными требованиями к качеству поверхностного слоя обрабатываемых деталей на финишных операциях широко применяют смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС). Однако в процессе эксплуатации технологические жидкости непрерывно и интенсивно загрязняются твердыми частицами металлообработки. Попадая в зону обработки, твердые частицы вместе со смазочно-охлаждающей жидкостью принимают участие в процессе резания и таким образом влияют на процесс формирования микропрофиля обработанной поверхности [1].

Наиболее распространенным и употребляемым в научной и технической литературе показателем шероховатости поверхности является показатель *Ra*. Между тем, опыт промышленной эксплуатации изделий свидетельствует о том, что для различных условий их использования необходимо контролировать не один, а несколько параметров. В данной статье остановимся на связи между двумя основными высотными параметрами *Ra* и R_{max} и на особенностях формирования последнего при абразивной обработке. В свое время в работе [2] показано, что эта связь сводится к ряду следующих простых соотношений. Например, для спеченной и необработанной поверхности она близка к виду $R_{max} \approx 4Ra$. При лезвийной обработке зависимость больше отвечает виду $R_{max} \approx 6Ra$. Для абразивной обработки кругами из сверхтвердых материалов (СТМ) наиболее характерной будет зависимость близкая к виду $R_{max} \approx 8Ra$. Для чисто абразивной обработки, например кругами из электрокорунда – $R_{max} \approx (6–8)Ra$. Причем большие значения будут характерными для чистовых методов абразивной обработки, например при доводке керамики эта зависимость близка к виду $R_{max} \approx 10Ra$. Приведенное выше, позволило автору работы [2] сформулировать следующее положение: чем более грубой является поверхность, тем она имеет меньше соотношение между R_{max} и *Ra,* а чем более совершенна поверхность, полученная доводкой, полированием или другими финишными методами, тем это соотношение больше. То есть, чем больше затрат идет у нас на процесс получения поверхности изделия, тем величина соотношения возрастает от 4 до 8.

Между тем, ряд дальнейших исследований показал, что такой вывод является неполным, поскольку отражает только первую часть указанной тенденции. Оказывается, что если нам необходимо получить еще более совершенную поверхность после шлифования еще и полированием с доведением величин шероховатости до 5–10 нм, то есть за-

траты на процесс получения поверхности возрастают, то величина соотношения $R_{max}= f(Ra)$ начинает снижаться и достигает ситуации, когда указанная выше зависимость становится близкой к виду $R_{max} \approx 4Ra$. Продемонстрируем это на примере формирования обработанной шлифованием и полированием поверхности монокристалла тетрабората лития, нового перспективного материала для функциональной электроники, обработка которого является исключительно затратной, поскольку требует получения конечной шероховатости по параметру *Ra* в пределах 1 нм. После разрезания монокристалла, его шлифование проводится свободным абразивом с понижением зернистости абразива и логично было бы предположить, что отношение R_{max}/Ra, исходя из изложенного выше, будет в пределах 6 (реально от 5,25 до 6,25). Дальнейшее полирование монокристаллов тетрабората лития проводили на смоляных полировальниках с использованием двух алмазных микропорошков АСМ зернистостью от 2/1 до 1/0 и оксида хрома. Это позволяет значительно снизить показатели шероховатости обрабатываемой поверхности монокристаллов. Так, после обработки с использованием микропорошка АСМ 1/0 *Ra* находится в пределах от 3,5 нм до 6,5 нм. Последующее использование оксида хрома при полировании позволяет снизить показатели шероховатости до требуемых величин. Анализ полированной поверхности методом атомно-силовой микроскопии показал, что у монокристалла тетрабората лития по плоскости (100) микрорельеф имеет показатели R_{max}, *Rz* и *Ra* составляют 5,26 нм, 4,82 нм и 1,24 нм соответственно, а соотношение R_{max}/Ra составляет 4,25. Представленное выше, как раз и говорит о том, что чем более затратным является процесс получения высококачественной поверхности, тем соотношение R_{max}/Ra снижается до 4.

В целом, мы и имеем своеобразную «дугу шероховатости» по соотношению R_{max}/Ra, когда вначале для обычной грубой исходной поверхности оно близко к 4, далее абразивная и алмазная обработка этой поверхности поднимают это соотношение в 6 и потом к 8. Вот это возрастание нас и заинтересовало с точки зрения поиска причин его возникновения.

Выше мы уже обратили внимание на то, что при эксплуатации смазочно-охлаждающих жидкостей на операциях шлифования в жидкости постепенно накапливаются твердые частицы, которые существенно влияют на формирование неровностей профиля поверхности, царапая поверхность (рис. 1) и, соответственно, увеличивают именно параметр R_{max}. Абразивные частицы шлама практи-

чески не деформируются, а, вступая в силовой контакт при шлифовании, как бы «удлиняя» абразивные зерна на поверхности круга и участвуя в единичных актах резания, внедряются в обрабатываемую поверхность, оставляя следы воздействия на поверхностном слое детали, которые приводят к росту R_{max}.

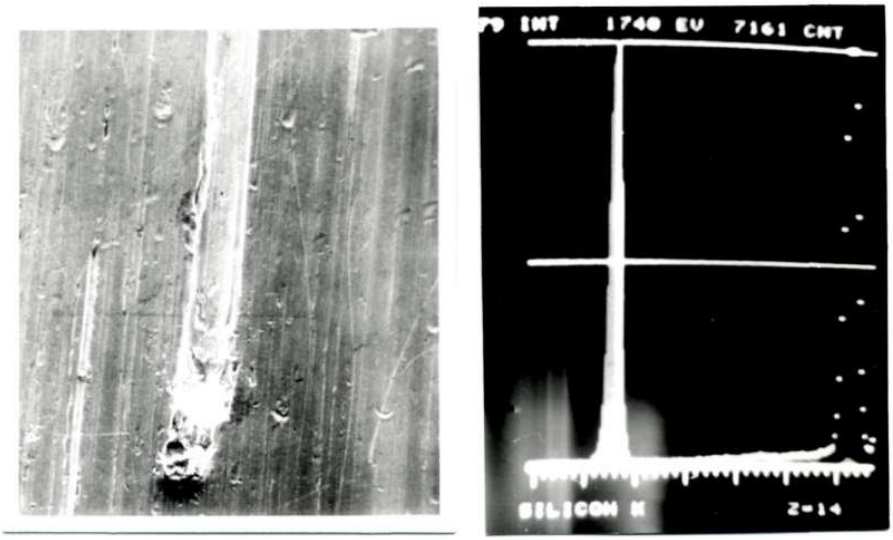


Рисунок 1 – Общий вид обработанной поверхности при абразивной обработке кругами из карбида кремния с царапиной и твердой частицей шлама, оставляющей царапину

Для вывода теоретических положений механизма воздействия твердых частиц на поверхностный слой необходимо изменение параметров шероховатости, учитывающих воздействие твердых частиц на микронеровности поверхностного слоя, определим из следующих соображений. Если на расстоянии λ от базовой линии провести эквидистанту (рис. 2), то каждое абразивное зерно на поверхности шлифовального круга, оставляя свой след в поперечном сечении детали в пределах базовой длины l на уровне этой эквидистанты, может занимать с равной вероятностью и независимо от других зерен произвольное положение вдоль базовой линии.

Твердые абразивные частицы, содержащиеся в СОТС, попадая в зону обработки детали, вызывают дополнительные царапины на поверхности, искажая закон распределения ординат микронеровностей поверхности. В зависимости от количества царапин z на отрезке базовой длины l_b изменятся и характеристики шероховатости поверхности, особенно значение R_{max}.

Для определения вероятности заклинивания твёрдых частиц в зоне контакта шлифовального круга с поверхностью детали воспользуемся методами теории вероятности. Возможны три варианта

расположения твердой частицы в зоне контакта шлифовального круга с поверхностью детали (рис. 2):

I. Размеры частицы достаточно большие, однако, существенно меньше расстояния между поверхностью связки и поверхностью детали и потоком СОТС такая частица выносится из зоны контакта.

II. Размеры твердой частицы меньше расстояния между выступающими на поверхности шлифовального круга абразивными зернами и поверхностью детали: частица не оставляет следа воздействия на поверхностном слое детали.

III. Размеры твердой частицы равны или несколько превышают расстояние от поверхности детали до выступов на поверхности шлифовального круга. В этом случае частица «заклинивает» между поверхностью шлифовального круга и деталью и оставляет след на поверхностном слое детали.

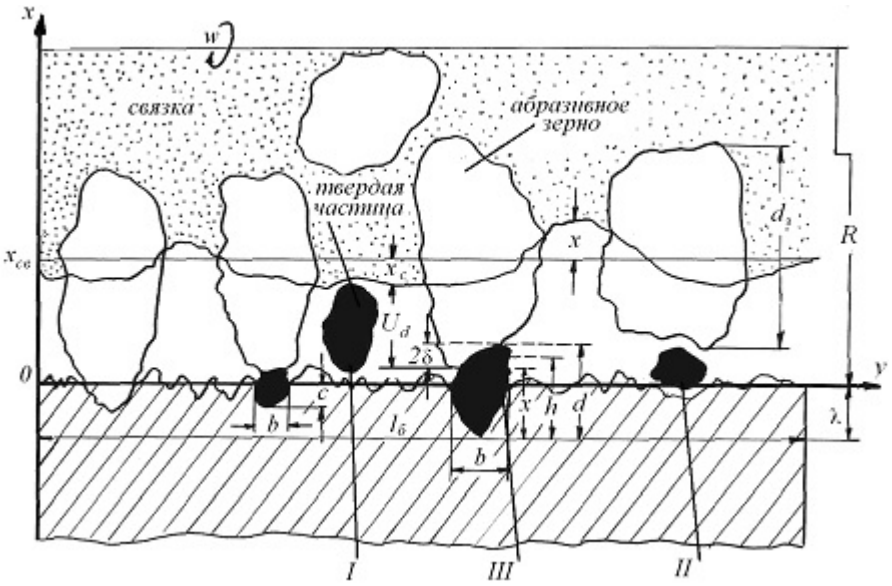


Рисунок 2 – Схема механизма воздействия твердых частиц на поверхностный слой

Вероятность «заклинивания» частицы при шлифовании с применением СОТС, содержащей твердые частицы, можно выразить интегралом [3]:

$$P_3 = \int_0^{d_{\max}} P_h \cdot d \cdot h, \qquad (1)$$

где P_h – вероятность заклинивания частицы размером h, а интеграл берется по всем возможным размерам частиц, находящимся в СОТС, то есть от 0 до d_{max}.

Чтобы произошло событие – «заклинивание» частицы размером h, должны одновременно произойти два случайных явления:

- диаметр частицы должен быть близок к h, приближаясь сверху ($h < d < h + \delta$);
- расстояние между выступающими вершинами абразивных зерен шлифовального круга и поверхностью детали также должно быть близким к h, приближаясь к нему снизу ($h - \delta < x < h$).

Вероятность попадания твердой частицы размером d в интервал ($h < d < h + \delta$), при контакте шлифовального круга с поверхностью детали, оценивается интегралом [3]:

$$P_1(h, h+\delta) = \int_h^{h+\delta} f(d)dd, \tag{2}$$

где $f(d)$ – вероятность распределения размеров твердых частиц в СОТС.

Вероятность того, что случайная величина размера твердой частицы примет значение x в интервале ($h - \delta \angle x \angle h$) оценивается интегралом:

$$P_2(h-\delta, h) = \int_{h-\delta}^{h} f(x)dx, \tag{3}$$

где $f(x)$ – вероятность распределения положений вершин абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга.

Тогда вероятность заклинивания частицы размером h оценивается произведением вероятностей P_1 и P_2:

$$P_h = P_1(h, h+\delta)P_2(h-\delta, h) = \int_h^{h+\delta} f(d)dd \cdot \int_{h-\delta}^{h} f(x)dx. \tag{4}$$

Каждое абразивное зерно, независимо от другого, может выступать над связкой на различную величину $(d_3 \geq U_d \geq 0)$ с равной вероятностью. Поэтому

$$f(U_d) = \begin{cases} 1/d_3, & при \quad 0 \leq U_d \leq d_3 \\ 0, & при \quad U_d < 0; \cdots u \cdots U_d > d_3 \end{cases}. \tag{5}$$

Плотность вероятности распределения размеров твердых частиц, содержащихся в СОТС при шлифовании, удовлетворяет логарифмически нормальному распределению:

$$f(d) = \frac{1}{d\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln d - m)^2}{2\sigma^2} \right], \tag{6}$$

где d – максимальный размер сечения твердой частицы; m и σ – параметры логарифмически нормального распределения.

Подставляя выражение для вероятности заклинивания частицы размером h в формулу (1), получим вероятность заклинивания твердых частиц в зоне контакта шлифовального круга и детали:

$$P_3 = \frac{1}{\sqrt{8\pi^3}\cdot\sigma\cdot\sigma_d}\int_0^{d_{\max}}\left\{\int_h^{h+\sigma}\frac{1}{d}\exp\left[-\frac{(\ln d - m)^2}{2\sigma^2}\right]dd\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\int_{h-d}^{h}\left[\int_{-\frac{d_3}{\sigma_d}}^{\infty}\frac{1}{t+\frac{d_0}{\sigma_d}}\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt\cdot\int_{-\frac{\sigma_c}{d_0}\left(1+\frac{\sigma_d}{d_0}-\frac{x}{d_0}\right)}^{\frac{x}{\sigma_c}}\exp\left(-\frac{U^2}{2}\right)dU\right]dx\right\}dh, \qquad (7)$$

где 2σ – длина интервала размеров твердых частиц, на котором происходит заклинивание.

Анализ формулы (7) показывает, что твердая частица, попавшая вместе с жидкостью в зону контакта, оставляет след-царапину на поверхности в том случае, когда размеры частицы равны или несколько превышают расстояние от поверхности детали до выступов на поверхности шлифовального круга. Заклинивание твердой частицы размером h произойдет в том случае, если диаметр частицы приближается к размеру h сверху, а расстояние между выступающими вершинами абразивных зерен шлифовального круга и поверхностью детали будет близким размеру h, приближаясь к нему снизу.

Анализ формулы (7) показывает также, что при шлифовании на параметр R_{max} оказывают влияние размеры частиц абразивного шлама, количество их в СОТС, а также вероятность заклинивания частиц в зоне контакта. С увеличением этих факторов параметр шероховатости R_{max} растет.

Литература

1. Степанов М. Влияние механических примесей, содержащихся в СОЖ, на структуру и микротвердость поверхностного слоя шлифованных деталей / М. Степанов, Н. Шумакова // Смазочно-охлаждающие технологические средства в процессе абразивной обработки. – Ульяновск, 1988. – С. 78–84.

2. Лавриненко В.И. Шероховатость обработанной поверхности: закономерности формирования и взаимосвязь ее параметров при обработке инструментом из СТМ / В.И. Лавриненко // Сверхтв. мат. – 2003. – № 2. – С. 58–67.

3. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятностей / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, 1976. – 240 с.

Лавриненко В.И., Полторацкий В.Г., Лещенко О.В.
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев
Солод В.Ю., Музычка Д.Г. Днепровский государственный
технический университет Украины, Каменское, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПАКТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Практическая реализация эффективности высоких технологий в области механообработки материалов непосредственно связана с использованием шлифовальных инструментов, оснащенных алмазными или абразивными порошками из композиционных материалов на основе сверхтвердых материалов (СТМ). Согласно концепции высоких технологий такие инструменты должны иметь максимальную производительность, достаточный запас рабочего ресурса, обеспечивать высокую эффективность обработки и необходимое качество обрабатываемой поверхности. В последнее время значительное внимание уделяется именно порошкам из композиционных СТМ [1]. Обусловлено это тем, что с одной стороны в них соединяются свойства составляющих композиционного материала, с другой – есть возможность влиять на свойства получаемого композиционного материала путем выбора определенного соотношения компонентов и/или условий синтеза материала. Использование таких абразивных порошков дает новые перспективы в области алмазно-абразивной обработки.

Вместе с тем, в последнее время особое внимание уделяется компактам, которые состоят из алмаза, окруженного своеобразной сверхтвердой оболочкой. Такая оболочка, в отличие от технологических покрытий зерен СТМ, дает возможность улучшить удержание компакта в связке рабочего слоя шлифовального круга, поскольку поверхность зерна стает более развитой, а также дает возможность доставки необходимых элементов непосредственно в зону резания зерном, а это позволяет изменять контактные процессы в этой зоне [1, 2].

Нашими исследованиями показано [2], что на фрикционные процессы и электризацию в зоне обработки определенное влияние оказывает введение компактов в рабочий слой инструмента. В данной работе основной целью было сравнение особенностей эксплуа-

тационных характеристик алмазных кругов, в первую очередь их износостойкости, при использовании в их рабочем слое абразивных порошков из полученных новых композиционных материалов на основе алмазов, а также микропорошков карбида бора, компактированных углеродной связкой методом физико-химического синтеза при давлении, ниже атмосферного [3].

Исследование процесса шлифования твердых сплавов осуществляли на стенде, созданном на базе модернизированного универсально-заточного станка модели 3В642. Использовались круги формы 12А2-45 размером 125×40×5×3×32 на полимерных связках с зернистостью компактов 125/100 и 160/125. Износостойкость кругов оценивали по величине относительной потери СТМ в кругах – q_p (мг/г). Шероховатость обработанных поверхностей определялась с помощью профилометра модели *SurfTest SJ-201* фирмы *Mitutoyo* (Япония). Величина напряженности электростатического поля шлама (Е, кВ/м) при исследованиях фиксировались бесконтактным путем измерителем параметров электростатического поля ИПЭП-1 (Беларусь). В процессе проведения исследований применялись композиционные порошки с содержанием на алмазах АС6 125/100 сверхтвердой оболочки из B_4C + КМ3/2 марка – КБ (рис. 1).

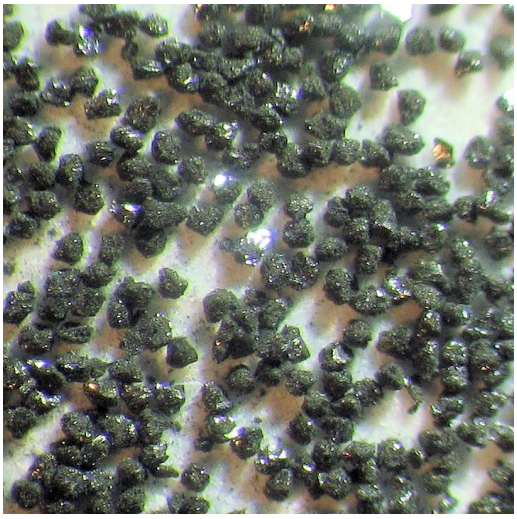


Рисунок 1 –Компакты марки КБ зернистости 160/125 на основе карбида бора

Укажем, что выбор карбида бора в виде составляющей оболочки компакта вызван следующим: во-первых, температура начала его окисления находится в пределах 600 °С, а это важно для нас с точки зрения получения покрытия на алмазных зернах (B_2O_3), и, во-вторых, известно, что карбид бора хорошо работает в условиях абразивного изнашивания, характерного для процессов абразивной обработки, а потому его добавка в компакт будет позитивной. При изготовлении компактов марки КБ использовалась смесь зерен АС6 125/100 (40%), B_4C 80/63 (40%) и микропорошка КМ 3/2 (20%).

Результаты по шлифованию твердого сплаву ВК6 кругами указанного выше типоразмера на полимерной связке В2-08 при разных производительностях шлифования сведены в табл. 1. Обратим внимание на то, что компакты с наличием карбида бора в сравнении с

чистыми алмазами имеют не только меньший показатель прочности, но и имеют большее значение электросопротивления. Кроме того, укажем, что у круга с компактом КБ 125/100 после производительности в 400 мм^3/мин произошло отслоение рабочего слоя, поэтому компакты КБ с такой зернистостью использовать нецелесообразно. Теперь проанализируем результаты таблицы. Установлено, что использование компактов КБ с зернистостью 160/125 (т.е. алмазы АС6 125/100 покрытые покрытием с карбидом бора) является лучшим чем исходные алмазы АС6 125/100 с точки зрения износостойкости кругов. При этом, компакты КБ обеспечивают наименьшую электризацию шлама. Установлено также, что производительность обработки на кругах с компактами КБ более существенно влияет на показатель шероховатости *Ra*. Так, если при небольших производительностях обработки шероховатость приблизительно одинакова, то уже при 500 мм^3/мин шероховатость после обработки кругами с компактом КБ является наивысшей, а это означает, что рабочая поверхность кругов с компактами КБ является более развитой и зерна больше выступают над поверхностью связки.

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели процесса шлифования твердого сплава ВК6 кругами с разным рабочим слоем

Характеристика рабочего слоя	$H_р$, Н	ρ, Ом×см	Q, мм^3/мин	E, кВ/м	q_p, мг/г	Ra, мкм
АС6 125/100–В2-08–100	5,8	10,0	200	-0,2	4,23	0,32
			300	-0,6	4,98	0,30
			400	-1,4	18,27	0,42
			500	-2,0	23,84	0,44
КБ 125/100–В2-08–100*	3,9	12,0	200	-0,2	4,27	0,23
			300	-0,5	10,98	0,38
			400	-1,3	29,87	0,36
КБ 160/125–В2-08–100	4,9	16,0	200	-0,1	1,32	0,31
			300	-0,4	10,28	0,32
			400	-0,7	6,33	0,46
			500	-1,2	11,74	0,75

*Рабочий слой круга отслоился при производительности 500 мм^3/мин

Как вывод из изложенного выше укажем на то, что введение карбида бора в компакт в виде покрытия алмаза отражается на эксплуатационных характеристиках кругов. Компакты КБ являются лучшими,

чем чисто алмазные зерна с точки зрения износостойкости кругов, однако проигрывают им в тех случаях, когда необходимо обеспечивать невысокую шероховатость обрабатываемой поверхности. Кроме того, компакты с карбидом бора обеспечивают наименьшую электризацию шлама, а это свидетельствует о том, что процесс обработки в этом случае менее энергонапряженный. В целом, использование в рабочем слое кругов алмазосодержащих компактов на основе карбида бора позволяет как минимум в 2 раза повысить износостойкость шлифовальных кругов в сравнении с чисто алмазными кругами.

Литература

1. Лавриненко В.И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / В.И. Лавриненко, В.Ю. Солод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.

2. Лавріненко В.І. Вплив функціональних домішок у робочому шарі кругів з надтвердих матеріалів та покриттів зерен на процеси електризації при шліфуванні / В.І. Лавріненко, О.А. Девицький, Б.В. Ситник та ін. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – Вип. 9. – С. 92–98.

3. Полторацький В.Г. Створення абразивних надтвердих матеріалів на основі алмазу та кубічного нітриду бору, структурованих вуглецевою зв'язкою при тисках нижче атмосферного: автореф. дис. канд. техн. Наук / В.Г. Полторацкий. – К: ІНМ ім. В.М.Бакуля НАНУ, 2014. –20 с.

Лавріненко В.І., Шейко М.М., Пащенко Є.О., Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИСОКОПОРИСТИХ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ ПРЕЦИЗІЙНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасне двигунобудування є однією з наукоємних галузей машинобудування як в Україні, так і в світовій практиці. На нинішньому етапі основними напрямками розвитку двигунів є підвищення рів-

ня їх службових характеристик та економічності. В значній мірі це пов'язане з технологіями виробництва двигунів та застосуванням в них ефективних розробок в технологіях механообробки, прогресивних інструментів та інструментальних матеріалів.

Раніше підприємства користувалися абразивними кругами російського виробництва, але нині у значній мірі для підвищення прецизійності, продуктивності та екологічності вони модернізовані за рахунок закупівлі нового європейського обладнання, для якого необхідно використовувати високопористі абразивні круги з використанням монокристалічного корунду. Оригінальність такого абразивного інструменту полягає в значному зниженні, до 3-х раз, об'ємного складу абразивних зерен при збільшенні відкритої пористості до 64% об'єму шліфувального кругу (рис. 1). У цих шліфувальних кругах поєднано унікальне сполучення високої структурованості (до 22 розроблених абразивно-керамічних композицій) з використанням абразивного матеріалу на основі монокристалічного корунду. Як наслідок, такі абразивні інструменти дозволяють працювати у зовсім інших термосилових умовах, досягати більш кращого доступу охолоджувальних рідин у зону обробки, підвищувати продуктивність і якість оброблення.

Проблема полягає у тому, що вказані вище високопористі абразивні круги мають значні відмінності у їх високоточному правленні, а відтак і виникає необхідність відпрацювати технологію їх прецизійного правлення, уточнити характеристики алмазного правлячого інструменту, а також характеристику інструменту з надтвердих матеріалів. Ідея даної роботи полягала у відпрацюванні технології прецизійного формоутворення високопористих монокорундових абразивних кругів інструментом з надтвердих матеріалів, створеним в Україні, а саме в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАНУ для потреб підприємств турбобудування України і вирішення проблеми імпортозаміщення такого інструменту.

Для досягнення вказаної мети в роботі вирішено наступне. По-перше, ідентифіковано структуру названих кругів, поставлено у відповідність до ДСТУ, що діє в Україні. По-друге, встановлено зв'язок між вихідними характеристиками високопористих кругів і прецизійного алмазного інструмента, режимами формоутворення з одного боку та характером зносу інструменту і періодом його стійкості з іншого. По-третє, рекомендовано оптимальні параметри прецизійного формоутворення високопористих монокорундових кругів з заданими характеристиками. В рамках даної роботи були проаналізовані най-

більш характерні для виробничих умов підприємств турбобудування України профілі оброблюваних поверхонь, стосовно яких були визначені технологічні особливості виготовлення алмазного правлячого прецизійного інструменту. В ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України була проведена технологічна підготовка виробництва, визначена технологія гальванопластики для закріплення на поверхні ролику алмазів оптимальної зернистості та високої термостійкості – АС200Т 400/3150 для досягнення високоефективної роботи навантажених ділянок робочого профілю роликів (рис. 2).

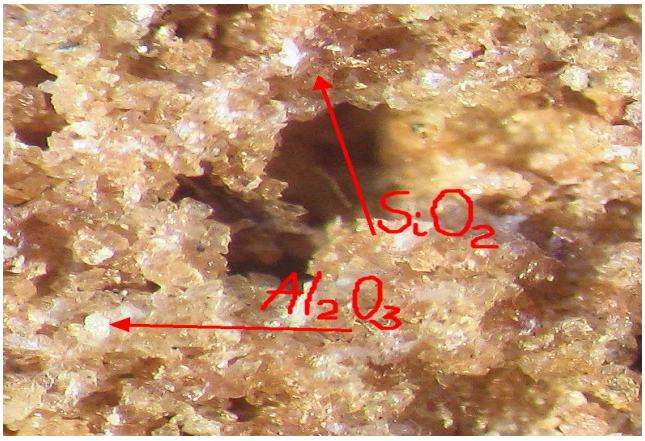


Рисунок 1 – Типовий вигляд вскритої (шліфованої) поверхні зразка абразивного матеріалу кругів з монокристалічного корунду (круг Т1 500×32×305 А59)

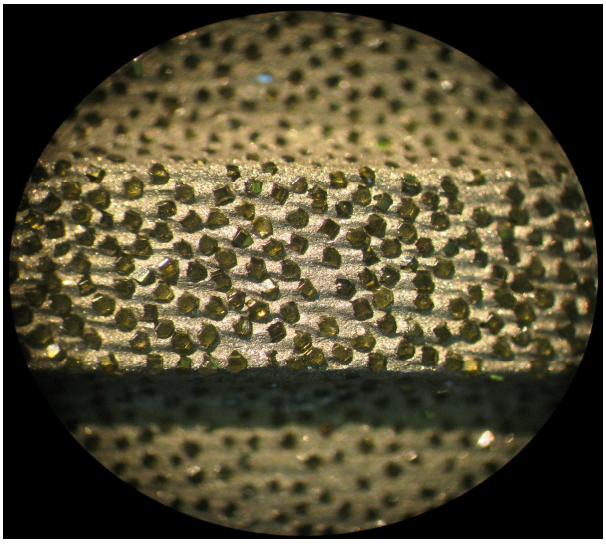


Рисунок 2 – Вскрита поверхня правлячого алмазного ролика Ø125 400/315 АС200Т

Для технологічного забезпечення формоутворення високопористих монокорундових кругів і з урахуванням проведених робіт та вимог виробництва в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України виготовлені та передані на підприємства турбобудування України на виробничі випробування прецизійні алмазні ролики.

Виробничі випробування алмазних роликів засвідчили, що вказаний вище правлячий інструмент повністю відповідає технічним вимогам замовника і забезпечує необхідну точність профілю, допуск радіального биття не більш як 5 мкм, торцьового – 3 мкм, шорсткість обробленої поверхні – $Ra < 0{,}63$.

Лавров А.С., Упырь В.Н., Тимошенко В.В.,
Чепиль В.В. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ВНЕДРЕНИЕ ИХ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ТМ. Велтек»

На сегодняшний день практически все предприятия и фирмы Украины несут большие финансовые потери в связи со снижением объема продаж, как на внутреннем рынке, так и на рынках СНГ. Основной причиной есть новая экономическая политика нашего государства. В связи с этим для обеспечения выживаемости предприятия руководством нашей фирмы проводится постепенное переоснащение производства, направленное на внедрение передовых технологий в сварочном производстве и установку нового, современного и высокоэффективного оборудования. Переоснащение предприятия даст возможность изготавливать высококачественную сварочную продукцию, отвечающую всем требованиям, как в странах ЕС, так и в других странах.

На сегодняшний день для выпуска конкурентоспособной и качественной порошковой проволоки необходимо:

- использование качественных (химически чистых) материалов, сырья, ленты;
- наличие сертифицированных лабораторий для проведения входного контроля материалов и ленты, сварочно-технологических испытаний;
- постоянная разработка новых составов по требованиям заказчика;
- применение современного высокопроизводительного волочильного, намоточного, упаковочного оборудования;
- подбор квалифицированного персонала, постоянное обучение персонала;
- функционирование на предприятии СМК, отвечающей ИСО 9001:2008;
- внедрение последних достижений НТП в технологии производства.

На сегодняшний день наша фирма устанавливает новое волочильное оборудование, которое является на сегодняшний день передовым в области технологии изготовления сварочных проволок. Установка новых волочильных станов позволяет получить значительные преимущества, так как процесс волочения (обработка ме-

талла давлением – протяжка через волоки) заменяется на процесс прокатки. Это обеспечивает повышение скорости волочения, снижение нагрузок, повышение качества за счет нанесения минимального количества смазки на поверхность порошковой проволоки. Производительность возрастает в 1,5–2 раза до 1,5–3,0 п/п в смену.

На сегодняшний день с целью повышения качества намотки п/п, повышению производительности и упаковки готовой продукции закуплено высокопроизводительное оборудование для рядной намотки и упаковки в бочки.

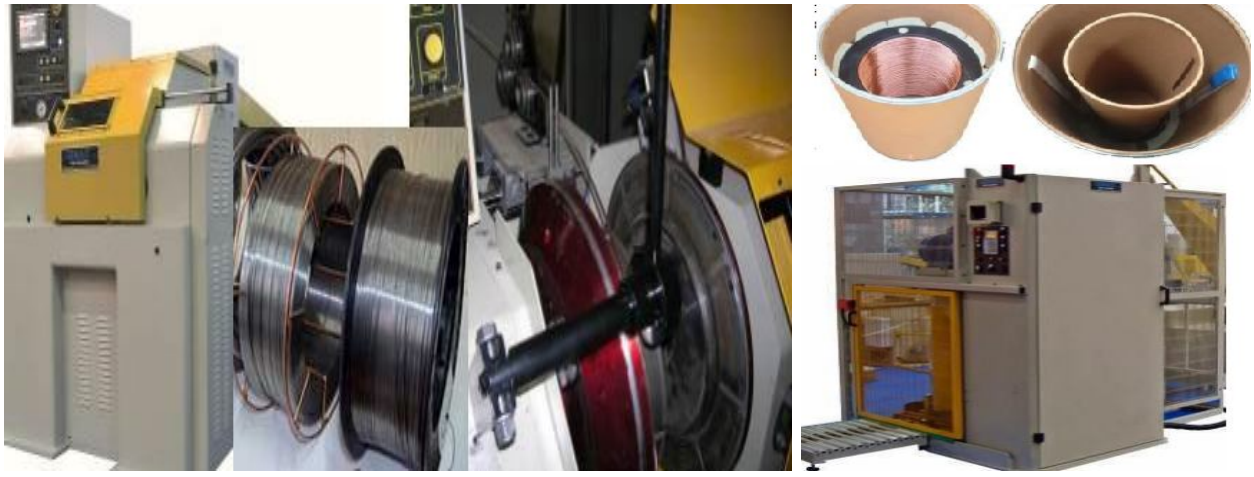


Рисунок 1 – Установка намотки на катушки и упаковщик в бочки. Производительность 1,0–2,5 т в смену

Наша фирма постоянно занимается исследованиями и испытанием и подбором волочильных смазок для изготовления порошковых проволок. Согласно проведенным нашей фирмой исследованиям проволок различных производителей остаточное содержание волочильной смазки находится в пределах от 0,100 кг/т до 0,900 кг/т на порошковых проволоках и от 0,050 кг/т до 0,600 кг/т на проволоках сплошного сечения.

За последние годы удалось добиться хороших результатов по низкому содержанию остаточной смазки на порошковой проволоке до 0,16 кг/т, что улучшает процесс сварки и наплавки.

На сегодняшний день наша фирма ежегодно проходит аудиторские проверки, как системы качества, так и сертификацию отдельных марок проволок такими организациями, как Lloyd's Register, УкрСЕПРО 2017, TÜV RHEINLAND, Российский морской регистр судоходства.

Переход СК на версию ISO 9001:2015, которая содержит целый ряд существенных изменений, которые переводят этот стандарт на

новый уровень в сравнении с версией ИСО 9001:2008. Основная цель изменений стандарта заключается в необходимости сосредоточиться на управлении процессами.

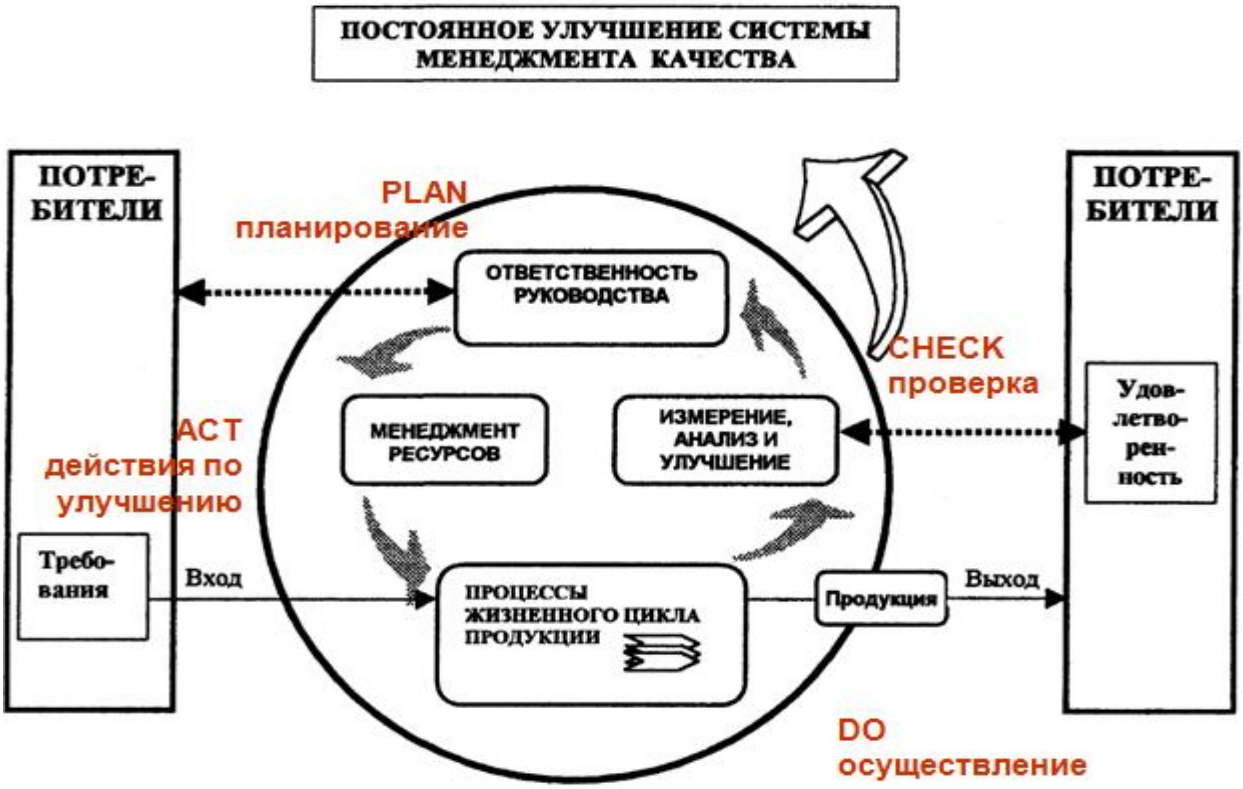


Рисунок 2 – Процессный подход к деятельности организации

Выводы. На сегодняшний день внедрение достижений НТП есть единственным путем развития нашего предприятия и обеспечения экономического роста и конкурентоспособности предприятия в дальнейшем.

Лебедев В.А., Жук Г.В. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА НА ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ

Развитие дуговых способов механизированной и автоматической сварки и наплавки с применением как проволок сплошного сечения так порошковых электродных проволок связано с повыше-

нием качества выполняемых работ и с экономией энергетических, материальных ресурсов, а также производительностью процесса.

Известны различные способы достижения указанных результатов связанные с выбором режимов, электродных материалов, защитных средств и др. [1]. Известно также, что существенное влияние на ряд показателей сварки, наплавки оказывает полярность ведения процесса. В [2] показано, что в отличие от повсеместно применяемого процесса на обратной полярности, сварки и наплавка на прямой полярности отличается существенно большей производительностью плавления электродной проволоки, но при этом процесс не стабилен, сопровождается повышенным разбрызгиванием и неудовлетворительным формированием сварного шва и наплавленного слоя.

Используя импульсную подачу электродной проволоки с регулированием частоты, скважности, амплитуды и формы импульса, а также дозированную подачу с управляемыми параметрами – величины токов дугового процесса, при которых начинается и заканчивается формирование импульсов подачи установленной амплитуды, можно с новым качеством реализовать механизированную сварку и наплавку не только на обратной, но и на прямой полярности [3].

В ИЭС им. Е.О. Патона выполнен комплекс сравнительных экспериментальных исследований, связанных с определением возможностей сварки и наплавки на прямой полярности при импульсном воздействии на процесс переноса электродного металла с использованием современных конструкций механизмов импульсной подачи [4], позволяющих формировать импульсы движения электродной проволоки с заданными параметрами. Следует отметить, что частота импульсов подачи может достигать 50–60 Гц. При экспериментах использовались три вида подачи: конвенциальная (без изменений в скорости движения электродной проволоки); импульсная с широким диапазоном регулирования параметров импульсов; дозированная с применением регулируемой по глубине и времени действия обратной связью по току дугового процесса. Наплавка производилась сплошной (Св08Г2с диаметром 1,2 мм, наплавка в CO_2) и порошковой электродными проволоками на сопоставимых режимах дугового процесса и скорости его ведения, позволяющих получить, по возможности, хорошее формирование наплавленного валика в нижнем положении. Следует отметить, что скорость наплавки на прямой полярности с применением импульсной подачи электродной проволоки выбиралась несколько меньшей (в 1,2–1,3 раза), что бы получить наплавленный валик близкий по форме и наполнения

с тем, который обычно получается при выполнении наплавки с конвенциальной подачей.

На фотографиях рис. 1, 2 представлены наплавленные валики, полученные с применением сплошной и порошковой электродной проволоки на токах 200 А.

Рисунок 1 – Характерные валики наплавок, полученные при использовании различных способов подачи электродной проволоки сплошного сечения на разных полярностях ведения процесса: 11, 19, 20 – полярность обратная, подача конвенциальная, импульсная, дозированная соответственно; 10, 12, 19 – полярность прямая, подача конвенциальная, импульсная, дозированная соответственно

Рисунок 2 – Характерные валики наплавок, полученные при использовании различных способов подачи порошковой электродной проволоки на разных полярностях ведения процесса: 14, 18, 15 – полярность обратная, подача конвенциальная, импульсная, дозированная соответственно; 13, 17, 16 – полярность прямая, подача конвенциальная, импульсная, дозированная соответственно

Из анализа большого числа сопоставимых по характеристикам дугового процесса наплавок с разными способами подачи электродной проволоки можно заключить, что формирование валиков с применением импульсной подачи существенно лучше (более равномерное распределение наплавленного слоя, меньше подрезов, существенное снижение прилипших брызг и др.).

Повышение стабильности горения дуги и существенное снижение разбрызгивания на прямой полярности при импульсной подаче можно объяснить, в том числе, и известным фактом получения этого эффекта на повышенных значениях тока дугового процесса, что характерно при токах в импульсах подачи.

Обращает внимание практическое отсутствие подрезов валиков при наплавке на прямой полярности, в частности, при импульсной подаче, что, по нашему мнению, можно объяснить, в том числе, и большей температурой анодного пятна, позволяющей в большей мере прогревать боковые кромки наплавляемого валика, что способствует формированию валиков без подрезов.

Отдельного рассмотрения требуют металлургические процессы при сварке-наплавке на прямой полярности, в частности повышенное выделение водорода, которое можно уменьшить управляемым переносом электродного металла, что снижает риск длительного контакта капель с газами.

Увеличенная доля наплавленного металла в шве и валике обеспечивает снижение содержания углерода, что снижает склонность швов и валиков к образованию горячих трещин.

Рассмотренные особенности сварки-наплавки на прямой полярности, а также высокая производительность процесса позволяют рекомендовать ее, кроме сварки, главным образом, для исправления дефектов в стальном литье и наплавочных работ.

Литература

1. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: Учеб. для проф. учеб. заведений / В.С. Виноградов. – М.: Высшая школа, Изд. центр «Академия», 2000. – 319 с.

2. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов / К.В. Багрянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. – К.: Вища школа, 1976. – 424 с.

3. Жук Г.В. Автоматизированная и механизированная сварка и наплавка с управляемой дозированной подачей электродной проволоки / Г.В. Жук, В.А. Лебедев // Инженерия поверхности и реновация изделий: мат. 17-ой международ. науч.-техн. конф., 29 мая–02 июня 2017 г., г. Одесса. – С. 249–251

4. Лебедев В.А. Быстродействующий вентильный электропривод для оборудования механизированной дуговой сварки / В.А. Лебедев, М.В. Гулій // Мехатроника. Автоматизация, Управление. – 2014. – № 6. – С. 47–51.

Лебедев В.А., Жук Г.В. Институт электросварки
им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ

Применение процессов и оборудования для дуговых способов механизированной и автоматической сварки и наплавки сопряжено с достаточно большими затратами энергетических и материальных ресурсов. Известен ряд способов, позволяющих снизить эти затраты. Это выбор режимов дугового процесса, материалов и защитных сред. обеспечивающих минимальное разбрызгивание. Применение импульсных алгоритмов функционирование систем автоматического и механизированного оборудования – источник сварочного тока, системы подачи электродной проволоки, системы подачи защитного газа также позволяет в значительной мере снизить потери электродного металла [1].

Несколько сложнее обстоит дело с уменьшением затрат электроэнергии при сохранении основных характеристик дугового процесса. Исходя из этого, изыскание возможностей снижения энергозатрат при дуговой сварке сплошными и порошковыми электродными проволоками является актуальной задачей, при решении которой можно говорить о дальнейшем совершенствовании оборудования.

Следует отметить, что снижение потерь электродного металла на угар и разбрызгивание является составной частью снижения энергозатрат. Существенным шагом в снижении энергозатрат является применение импульсной подачи электродной проволоки [2]. Расширить эти возможности позволяет применение современных разработок для управляемой импульсной подачи (регулирование основных характеристик на частотах до 50–60 Гц), реализуемое современными компьютеризованными безредукторными механизмами подачи с вентильными и шаговыми электродвигателями

В последнее время разработан новый способ дуговой механизированной сварки и наплавки с дозированной подачей электродной проволоки [3], который существенно расширяет возможности процесса. Это относится и к решению задачи снижения энерго и ресурсосбережения. Измерение энергии, затраченной на ведение механизированного дугового процесса, достаточно сложная задача из-за отсутствия специальных измерительных средств. В ИЭС им. Е.О.Патона разработано специальное измерительное устройство,

позволяющее при подключении к сварочной цепи в разных условиях за заданный промежуток времени определить расход энергии на выполнение сварки или наплавки. С использованием этой разработки выполнен цикл исследований, позволяющих дать сравнительную оценку затрат электроэнергии, используя различные способы подачи электродной проволоки: конвенциальную с неизменной скоростью подачи, импульсную с регулированием параметров импульсов, дозированную, в которой используется управляющая обратная связь по току дугового процесса. Исследования включали в себя применение процесса со сплошной электродной проволоки типа Св08Г2С диаметром 1,2 мм в CO_2, а также порошковой самозащитной электродной проволокой диаметром 1.6 мм. Это наиболее распространённые диаметры указанных проволок.

На рис. 1 и 2 в показательной форме приведены результаты замеров потреблённой энергии для разных способов подачи разных типов электродных проволок, приведенные к единому объёму расплавленной электродной проволоки. Определялись удельные затраты при наплавке в нижнем положении. При экспериментах использовалась прямая и обратная полярность ведения сварочных процессов. На диаграммах в центре квадрата – зафиксированные в ряде экспериментов средние затраты, стрелки направлены в сторону снижения затрат. Изменение режимов сварки-наплавки в пределах обычно используемых режимов сохраняет тенденции, приведенные на рис. 1, 2 с фиксированными режимами наплавки

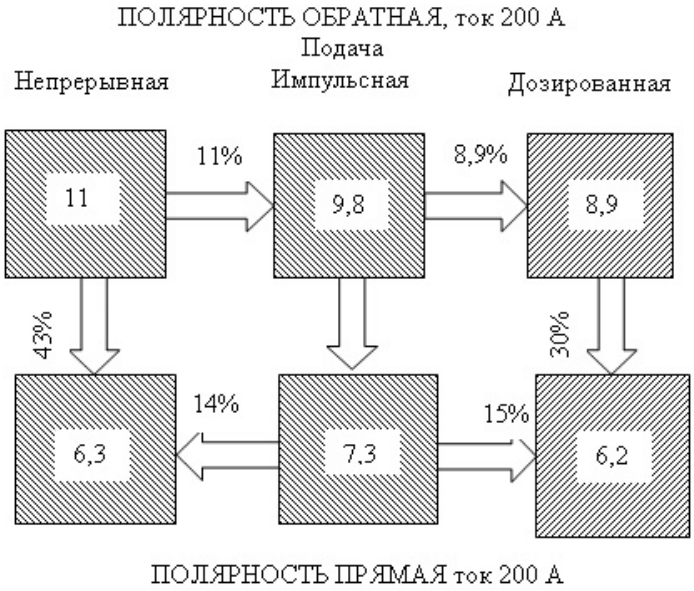


Рисунок 1 – Диаграмма, определяющая энергетические затраты при наплавке на разных полярностях при различных способах подачи электрода на токе 200 А сплошной электродной проволокой в CO_2

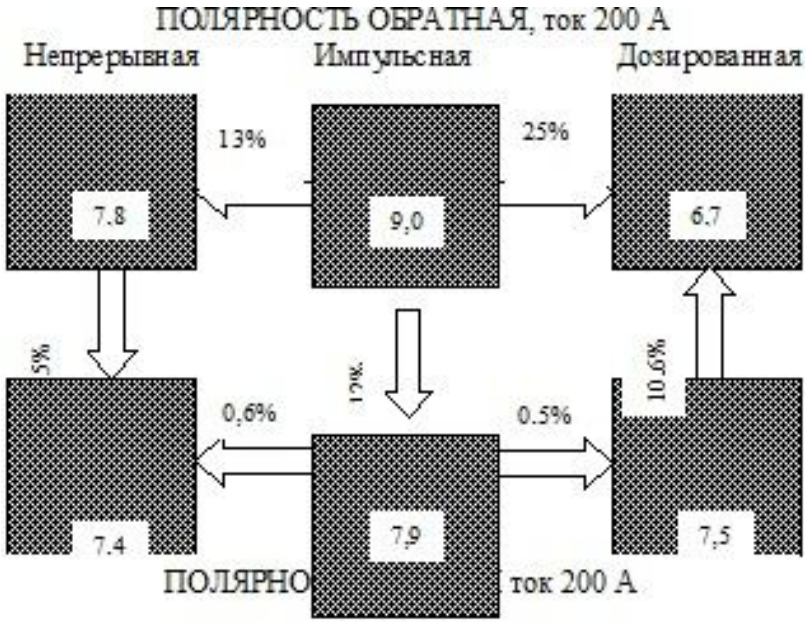


Рисунок 2 – Диаграмма, определяющая энергетические затраты при наплавке на разных полярностях при различных способах подачи электрода на токе 200 А порошковой самозащитной электродной проволокой

Из анализа полученных усреднённых результатов следует, что применение импульсных способов подачи электродных проволок в значительной степени снижает прямые энергетические затраты на ведение дуговых процессов, при этом новый способ сварки с дозированной подачей электродной проволоки наиболее эффективен.

Разработки техники и технологии дуговой механизированной сварки и наплавки могут быть широко применены при разработке или модернизации полуавтоматов, установок и автоматов для ведения работ в различных условиях и на разных работах.

Литратура

1. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах / А.Г.Потальевский. – К.: Экотехнология, 2007. – 192 с.

2. Лебедев В.А. Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел // Наукоемкие технологи в машиностроении. – 2015. – № 9. – С. 20–27.

3. Лебедев В.А. Управление переносом электродного метала на основе импульсных алгоритмов функционирования систем с дозированием подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке / В.А. Лебедев, Г.В. Жук // Тяжелое машиностроение. – 2017. – № 6. – С. 27–32.

Лебедев В.А, Максимов С.Ю., Жук Г.В. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев
Лой С.А. Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Совершенствование процессов механизированной и автоматической дуговой сварки, восстанавливающей и упрочняющей наплавки плавящимся электродом – актуальная задача, которая решается рядом технологических и технических способов и, например, при наплавке направлены на минимизацию проплавления основного металла и смешивания электродного металла, зачастую имеющего специальные свойства, с металлом обрабатываемой детали, получение благоприятной структуры наплавленного металла, способной повысить эксплуатационные свойства детали. Имеют большое значение результаты, способствующие снижению энерго - ресурсозатрат. Всё это по отдельности и в комплексе можно получить, используя импульсные методы управления переносом электродного металла, реализуемые с помощью источника сварочного тока или механизма подачи электродной проволоки с импульсными алгоритмами функционирования [1].

Известны результаты, получаемые с использованием управляемой импульсной подачи электродной проволоки при сварке и наплавке конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества (Ст3, Ст.20 и им подобные) [2], а также конструкций из сплавов алюминия [3]. Остаются невыясненными вопросы сварки и наплавки нержавеющих сталей в различных конструкциях.

Целью настоящей работы явилось выяснение возможности совершенствования процессов сварки и наплавки нержавеющих сталей с использованием импульсных алгоритмов работы современных систем подачи электродной проволоки механизированного и автоматического оборудования.

Актуальность работы дополнительно может определяться простотой реализации способа сварки и наплавки с управляемой импульсной подачей электродной проволоки даже в монтажных условиях, где другие способы менее доступны для применения или тре-

буют применения дополнительных технических средств или технологических приёмов.

В настоящее время разработаны достаточно совершенные системы подачи проволоки на основе шаговых и вентильных [4] компьютеризованных электроприводов. Как показали экспериментальные исследования, по совокупности характеристик, вентильные электроприводы имеют лучшие показатели и поэтому при выполнении исследовательских работ по наплавке нержавеющих сталей были использованы системы подачи с вентильными электродвигателями.

Следует отметить, что в установке применен ряд специальных датчиков, позволяющих отслеживать важнейшие для процесса параметры, основные из которых следующие:

- холловский датчик тока с широкой полосой пропускания;
- инкрементальный датчик скорости подачи электродной проволоки, позволяющий с достаточной точностью определять параметры импульсов движения проволоки: частоту, скважность, амплитуду.

Наплавка производилась на стандартные образцы из нержавеющих сталей рекомендованной электродной проволокой типа СВ06Х19Н9Т ∅ 1,2 мм. В качестве защитной среды использовался CO_2. По характерным осциллограммам тока дугового процесса и скорости импульсной подачи электродной проволоки определено, что каждому импульсу подачи соответствует импульс короткого замыкания дугового промежутка. Процесс носит управляемый характер.

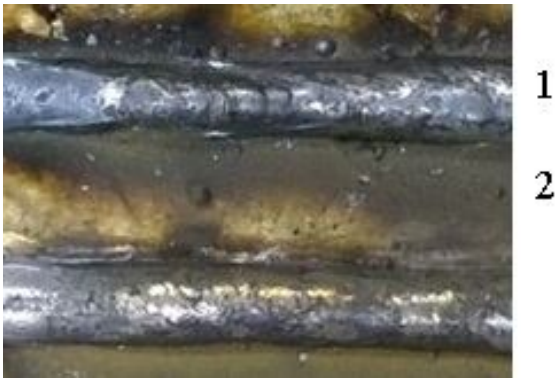


Рисунок 1 – Внешние виды наплавленных валиков при подаче электродной проволоки: 1 – непрерывной; 2 – импульсной

На рис. 1 даны сравнительные фотографии наплавленных валиков при неизменной скорости подачи и при импульсном её движении. Наплавка производилась на токах порядка 200 А и напряжении 25–30 В.

На рис. 2 представлены макрошлифы сравнительных наплавок при обычной и импульсной подаче электродной проволоки с разными значениями скважности и частоты. Очевидна возможность получения достаточно широкого диапазона управления параметрами наплавленного валика и проплавления основного металла, что очень важно как для получения разного вида швов, так и для вос-

станавливающей и упрочняющей наплавки с обеспечением большего объёма электродного металла со специальными свойствами

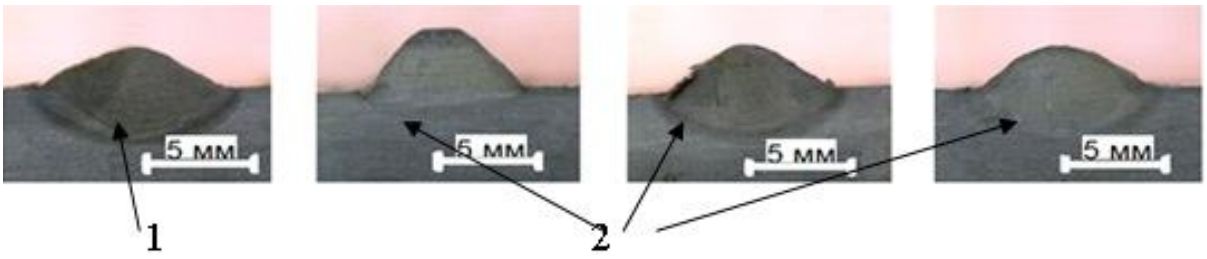


Рисунок 2 – Изменения геометрических размеров шва при различных параметрах импульсной подачи; 1 – обычная; 2 – импульсная

Особо следует отметить значительное снижение потерь электродного металла на угар и разбрызгивание (в 2–3 раза), а также уменьшение потерь электродного металла. Эти экономические показатели сварочно-наплавочных процессов с управляемой импульсной подачей проволоки могут изменяться в зависимости от параметров импульсной подачи и в меньшей от марок нержавеющей стали и проволок.

Для сравнительной оценки воздействия импульсной подачи на характеристики и результаты сварки и наплавки нержавеющих сталей при экспериментальной работе использовались другие типы электродных проволок, в том числе и порошковые. Определено, что тенденции в формировании шва и наплавленного валика, а также проплавление и экономические показатели имеют те же тенденции, что и обычные конструкционные стали. Отличия состоят лишь в количественных показателях.

Следует отметить, что теплофизические свойства, в частности теплоплопроводность, многих сортов нержавеющих сталей существенно (до двух раз) ниже, чем у обычных сортов низкоуглеродистых сталей, применяемых во многих распространённых типах конструкций. Увеличение прогрева ухудшает защитные свойства нержавеющего материала. Следовательно, применение при сварке и наплавке управляемой импульсной подачи способствует улучшению структуры и механических свойств сварных швов и наплавленных слоев в большей степени, чем при работе с конструкциями из низкоуглеродистых сталей.

Литература

1. Патон Б.Е. Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной свар-

ки плавящимся электродом / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, С.И. Полосков, И.В. Лендел // Сварка и диагностика. – 2013. – № 6. – С. 16–20.

2. Лебедев В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев // Сварочное производство. – 2007. – № 8. – С. 30–35.

3. Лебедев В.А. Энерго и ресурсосберегающие технологии с использованием оборудования для сварки, наплавки и резки сталей и алюминия / В.А. Лебедев // Тр. международ. науч.-практ. конф. «Экология окружающей среды-2008, Энерго-и ресурсосбережение в промышленности, энергетике и на транспорте». – К., 2008. – С.59–63.

4. Лебедев В.А. Современные вентильные электроприводы в системах механизированного сварочного оборудования / В.А. Лебедев, В.В. Рымша, И.Н. Радимов // Електромашинобудування та Електрообладнання. – К.: Техніка, 2009г. – Вип. 74. – С. 22–24.

Lebedev V.A., Novykov S.V. The E.O. Paton electric welding institute o the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ANALYTICAL DETERMINATION OF INCREASING THE SURFACING BEAD WIDTH IN DEPEND ON THE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE WELDED BATH VIBRATION

One of the ways to increase the process productivity with the reduction of the thermal action time of the arc with subsequent undesirable changes in the surfacing layer properties is the use of mechanical oscillations of the surfacing product [1].

The use of technical means (stepping and valve high-speed electric motors [2] with computerized regulators of rotation algorithms), capable of oscillating products with controlled characteristics (frequency, amplitude), allow obtaining sufficiently significant results. In this case, as a rule, gearless constructions of mechanisms for transferring motion from the motor shaft are used to precise reproduce a given motion trajectory.

The purpose of this work is the technique of analytical evaluation of the parameters oscillation of the surfacing product on the surfacing bead width as a factor that significantly influences at the process productivity

and determines the capabilities of the drive devices and even the products mass and sizes.

The broadening H of a surfacing bead that is obtained by surfacing on a part that is performing of harmonic oscillations by given law, is due to the inertia of the mass center melt of the weld pool at the extreme point, i.e. which one where the changing oscillations speed direction. The value of the broadening is determined by expression:

$$H = \left| l\frac{d\varphi}{dt}\tau_n + l\frac{d^2\varphi}{dt^2}\frac{\tau_n^{\,2}}{2} \right| \tag{1}$$

where l [m] – distance from the oscillation axis to the melt mass center; φ [^{0}] – current angular coordinate of the melt mass center of the weld pool; τ_n [s] – pause time at the extreme point. The value φ changing is expressed by equation:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\gamma\frac{d\varphi}{dt} + \omega_0\varphi = \frac{M_0}{ml^2}\sin\omega t \tag{2}$$

where $2\gamma = \frac{\beta Sl^2}{ml^2h} = \frac{\beta LA}{mh} = \frac{\beta L\pi\gamma_0 l}{180mh}$ - coefficient is accounting for the viscous friction force. There is β [Pa·s] – coefficient of the melt viscous, S [m^2] – the area among phase the bath melt and the base metal, h [m] – distance from a mass center melt to an among phase border is measured by vertical, L [m] – welding pool length, $A = \gamma_0 l$ [m] – harmonic oscillation amplitude, γ_0 [^{0}] – maximum angle of deviation of welding pool from vertical, $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$ - frequency of the natural oscillations of the melt, M_0 [N·m] – torque value on a shaft of stepper motor, ω [rad/s] – angle frequency.

A solve of the equation is this expression [3]:

$$\varphi(t) = \frac{M_0}{ml^2\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\gamma^2\omega^2}}\sin(\omega t + \theta) \tag{3}$$

where $\theta = arctg\left(\frac{2\gamma\omega}{\omega_0^{\,2} - \omega^2}\right)$ - shift angle among M_0 and angle coordinate $\varphi(t)$.

A metal mass of welding pool m may evaluate by expression [4,5]:

$$m = \alpha_н I_д \frac{L}{3600\rho_{рм}V_н}(1-\psi) + \rho_{рм}F_{пр}L = \alpha_н I_д \frac{L}{3600\rho_{рм}V_н}(1-\psi) + \frac{\eta I_д U_д L\rho_{рм}}{ec\varphi T_{пл}V_н} =$$
$$= \frac{I_д L}{V_н}\left(\frac{\alpha_р(1-\psi)}{3600\rho_{рм}} + \frac{\eta U_д\rho_{рм}}{ec\varphi T_{пл}}\right) \tag{4}$$

where $\alpha_н I_д \frac{L}{3600\rho_{рм} V_н}(1-\psi)$ - metal mass of welding pool due to melting electrode wire. There is $\alpha_н$ = 15÷25 g/A·h at surfacing /welding in CO_2 - surfacing coefficient; $I_д$ [A] – arc current; $\rho_{рм}$ [g/sm^3] – metal density of welding pool melt, $V_н$ [м/с] - surfacing velocity, ψ – non-dimensional coefficient of electrode metal casualties.

$\rho_{рм} F_{пр} L$ - metal mass of welding pool due to melting basic metal. There is $F_{пр}$ [m^3] – transverse section area of basic metal melted, η – efficiency coefficient of a metal heat up by welding arc, $U_д$ [V] – arc voltage; e – base of the natural logarithm; $c\varphi$ [Дж/см^3·°К] – volume heat capacity; $T_{пл}$ [°К] – melting point of a welding pool metal.

Expression for L is [4]:

$$L = \frac{\eta I_д U_д}{2\pi\lambda(T_{пл} - T_н)} \tag{5}$$

where λ [Вт/(м·°К)] – thermal conductivity coefficient.

Accepting that the welding pool melt has ellipsoid shape with axles $2h$ and L, during of a heat-saturation time, then might be determined volume by expression $\Omega = \frac{4}{3}\pi h^2 \frac{L}{2}$. Then, with considering expression (6), distance h from mass melt center to the among-phase border may evaluate by expression:

$$h = \sqrt{\frac{3\Omega}{2\pi L}} = \sqrt{\frac{3m}{2\pi L \rho_{рм}}} \tag{6}$$

The value H of the surfacing bead broadening is determined by expression:

$$H = \left| \frac{M_0 \tau_п \omega \pi}{180 m l \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}} \left(\cos(\omega t + \theta) - \omega \sin(\omega t + \theta) \frac{\tau_п}{2} \right) \right| \tag{7}$$

where t is half of oscillation period time.

A calculations have been done by this expression and charts of depends broadening from frequency oscillation υ and broadening from amplitude A were built. It was being done for two technological modes (Fig. 1,2): 1: $I_д$ = 250 A; $U_д$ = 32 V; $V_н$ = 40 m/h; 2: $I_д$ = 200 A; $U_д$ = 25 V; $V_н$ = 27,68 m/h.

Conclusions: Analytical calculation of the weld bead width increase (broadening) due to the harmonic oscillations of the weld pool is given. The dependences of the broadening on the amplitude-frequency characteristics are close to rectilinear. The lower the current and the rate of sur-

facing, the higher the broadening, which is associated with a decrease in the mass of the melt. The broadening magnitude does not exceed 2 mm.

An increase in frequency results in a decrease in the broadening magnitude, which is due to a shortage of time for inertia, which is necessary for the melt to flowing. An increase in the oscillation amplitude leads to an increase in the broadening magnitude. Thus, to obtain maximum broadening it is necessary to implement surfacing when the weld pool oscillates with a minimum frequency and maximum amplitude for a given value of the welding current, which should be determined by a series of further experiments. It is expediently to increase the frequency with a decrease in the welding current.

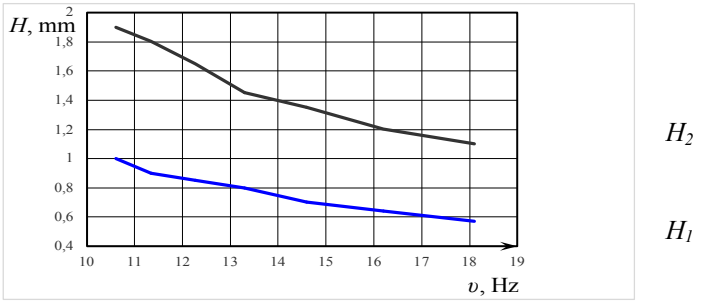


Fig. 1 – The depend of the broadening *H* from frequency oscillation *υ*

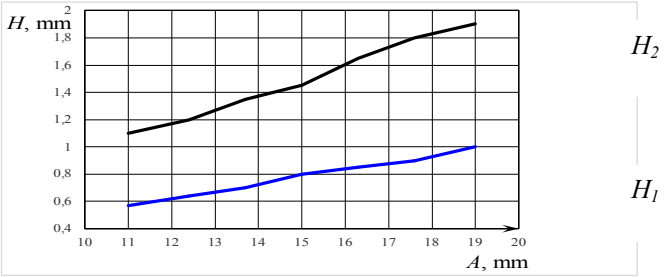


Fig. 2 – The depend of the broadening *H* from amplitude *A*

References

1. Lebediev V.O. Control of the weld structure formation under the influence of low-frequency mechanical oscillations on the weld pool melt (review) / V.O. Lebediev, S.V. Drahan, S.V. Novikov, I.V. Simutiencov // Collection of Scientific Publication. – 2017. – № 3. – P. 21–28.

2. Lebedev V.A. The modern brushless DC drives in the system of the mechanized and automatied welding equipment / V.A. Lebedev,

V.V. Rymsha, I.N. Radimov // Electrical machine-building and electrical equipment – K.: Technika, 2009, – Issue 74. – P. 22–24.

3. Trubetskov D.I. Linear oscillations and waves / D.I. Trubetskov, A.G. Rozhnev // Training allowance. – M.: FIZMATLIT, 2001. – P. 90.

4. Volchenko V.N.Theory of welding processes / V.N. Volchenko, V.M. Yampolsky, V.A. Vinokurov et al. – M.: Vyschaya Shkola, 1988. – P. 230, 227.

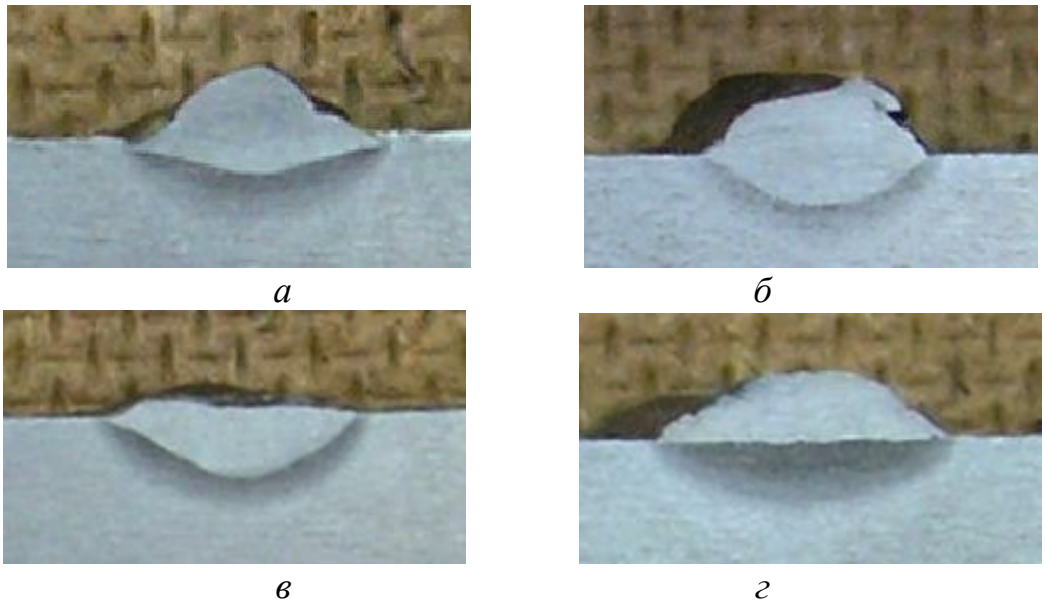
5. Rykalin N.N. Calculations of thermal processes during welding / Rykalin N.N. – M .: Mashgiz, 1951. – P. 214, 221.

Максимов С.Ю., Лебедев В.А., Кражановский Д.Н., Жук Г.Н. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРАМИ МЕТАЛЛА ШВОВ, СВАРЕННЫХ ПОД ВОДОЙ, ЗА СЧЁТ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

В условиях сварки под водой возможности изменения параметров режима сварки в значительной степени ограничены. Это затрудняет управление геометрическими параметрами наплавляемого металла. Решение проблемы обеспечения требуемого проплавления основного металла возможно за счёт применения импульсной подачи электродной проволоки. Целью данной работы было определить эффективность применения такого подхода для условий сварки под водой порошковой проволокой.

Наплавки на пластины толщиной 12 мм из стали Ст3 выполнялись порошковой проволокой ППС-АН1 диаметром 1,6 мм в автоматическом режиме на глубине 1 м на скорости 9 м/час в нижнем положении и на вертикальной плоскости сверху вниз. Частота подачи проволоки изменялась в диапазоне от 0 до 60 Гц, скважность – от 0 до 10 ед. Во время сварки выполняли запись электрических параметров процесса для дальнейшей обработки. Из наплавок вырезались поперечные макрошлифы для измерений глубины проплавления h, ширины w и высоты усиления g. Фотографии типичных сечений приведены на рис. 1. По полученным данным в программном обеспечении «STATISTICA» были построены зависимости указанных параметров от частоты и скважности подачи порошковой проволоки.



а *б*

в *г*

Рисунок 1 – Макрошлифы наплавок, выполненных на режимах:
а – без импульсов, *б* – частота 10 Гц, скважность 10,
в – частота 50 Гц, скважность 10, *г* – частота 30 Гц, скважность 10

Установлено, что на высоту усиления и глубину проплавления большее влияние оказывает частота, а на ширину шва – скважность подачи проволоки.

В табл. 1 приведены данные о степени влияния параметров импульсной подачи порошковой проволоки на геометрические параметры сварного шва по сравнению со сваркой при постоянной подаче порошковой проволоки на том же режиме (180А для нижнего положения, 150А – на вертикальной плоскости).

Таблица 1 – степень влияния параметров импульсной подачи порошковой проволоки на геометрические параметры сварного шва

Параметр	Положение	Значение параметра, мм			Влияние, %		Диапазон влияния, %
		без ИППД	min	max	уменьшение	увеличение	
w	нижнее	15,71	4	16,44	10,9	4,6	15,5
h		2,52	2,07	3,65	17,9	44,8	62,7
g		4,82	2,97	5,63	38,4	16,8	55,2
w	вертикальное	9,25	7,99	9,94	13,6	7,5	21,1
h		0,57	0,37	1,63	35,31	186,0	221,1
g		1,54	1,02	2,08	33,38	35,1	68,8

Как видно из полученных результатов, при сварке в нижнем положении наибольший эффект подучен для глубины проплавления – она изменяется на 62,7%. При сварке на вертикальной плос-

кости закономерность сохраняется, но эффект более выражен – глубина проплавления изменяется более чем в два раза. Наименьшие изменения замечены при измерениях ширины шва.

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность применения импульсной подачи порошковой проволоки для управления геометрическими параметрами наплавленного металла при сварке под водой порошковой проволокой.

Мановицкий А.С. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗЦАМИ С РАДИУСОМ ПРИ ВЕРШИНЕ

Основной отличительной особенностью сложнопрофильного точения от токарной обработки наружных и внутренних гладких поверхностей деталей резцами с радиусом при вершине является отсутствие постоянства положения вершины резца на его режущих кромках. В зависимости от угла наклона образующей профиля детали к ее оси вращения изменяются главный и вспомогательный углы в плане резца, переменным является также и сечение среза, а соответственно и площади поверхностей контактного взаимодействия круглой режущей пластины со снимаемым припуском и обрабатываемой поверхностью детали.

Переменные значения площадей контактных поверхностей резца при относительном постоянстве скалярных значений нормальных и касательных контактных напряжений в сочетании с изменяющимся положением вершины резца приводит к изменению векторов составляющих силы резания в основной плоскости, что, в свою очередь, при заданной жесткости технологической системы влияет на осевые и радиальные отклонения линейных размеров обработанной детали.

Поскольку вершина резца в зависимости от кривизны выпуклого или вогнутого профиля «мигрирует» по длине режущих кромок существенно возрастает по сравнению с точением гладких цилинд-

рических или конических валов суммарная площадь изношенной поверхности инструмента.

Если цилиндрическая обработанная поверхность характеризуется радиусом ее образующей, стремящимся к бесконечности, а коническая – еще и дополнительным углом наклона образующей конуса к оси вращения детали, то сложнопрофильная поверхность вращения с наличием криволинейных выступов и впадин будет определяться положением центра и величиной текущего радиуса кривизны профиля обтачиваемой детали.

Мгновенное положение вершины резца, главного и вспомогательного углов в плане, максимальное сечение среза, суммарная длина режущих кромок, площадь поверхностей контактного взаимодействия, текущие векторные значения осевой и радиальной составляющих силы резания, изнашивание инструмента и другие характеристики процесса резания зависят главным образом от соотношения величины и положения центра текущего радиуса кривизны образующей криволинейной поверхности и радиуса круглой режущей пластины в сочетании со скоростью резания, подачей и глубиной резания.

Поскольку основным значащим фактором, определяющим качество обработанной поверхности, является подача, приведенные ниже уравнения (1) и (2) позволяют сформировать общее кинематическое представление о том, каким образом соотношение текущего радиуса R_d образующей сложного профиля и радиуса r режущей пластины влияет на изменение величины подачи на радиусной части выпуклой:

$$S_{вс} = S_x \cos arctg \frac{S_x}{R_d + r} \cdot \frac{1}{1 + \frac{r}{R_d}} \qquad (1)$$

и вогнутой:

$$S_{вп} = S_x \cdot \frac{1}{\cos arctg \frac{S_x}{R_d - r} \cdot \left(1 - \frac{r}{R_d}\right)} \qquad (2)$$

криволинейных поверхностей тел вращения, если S_x – осевая подача резца при токарной обработке гладкой цилиндрической поверхности детали резцом, оснащенным круглой режущей пластиной.

Манохин А.С., Клименко С.А., Копейкина М.Ю.,
Муковоз С.Ю. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
Муковоз Е.А. ГВУЗ "Киевский транспортно-экономический
колледж" Национального транспортного университета, Киев,
Береснев В.М. Харьковский национальный университет
им. В.Н. Каразина МОН Украины, Харьков, Украина

ИЗНАШИВАНИЕ 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 (нержавеющие, термообработанные стали, жаропрочные сплавы) 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 инструментов с ПСТМ на основе КНБ анализ публикаций не выявил каких-либо типов покрытий, рекомендованных для данного типа инструмента, исходя из особенностей его контактного 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 инструментах с ПСТМ с целью поиска наиболее перспективных составов покрытий с точки зрения повышения работоспособности инструмента.

Эксперименты проводились при обработке 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 инстру-

мента: $\gamma = -10°$; $\alpha = 10°$; применялись режущие пластины ∅7 мм без упрочняющих фасок.

Проверялись эксплуатационные свойства инструментов с двумя типами покрытий:

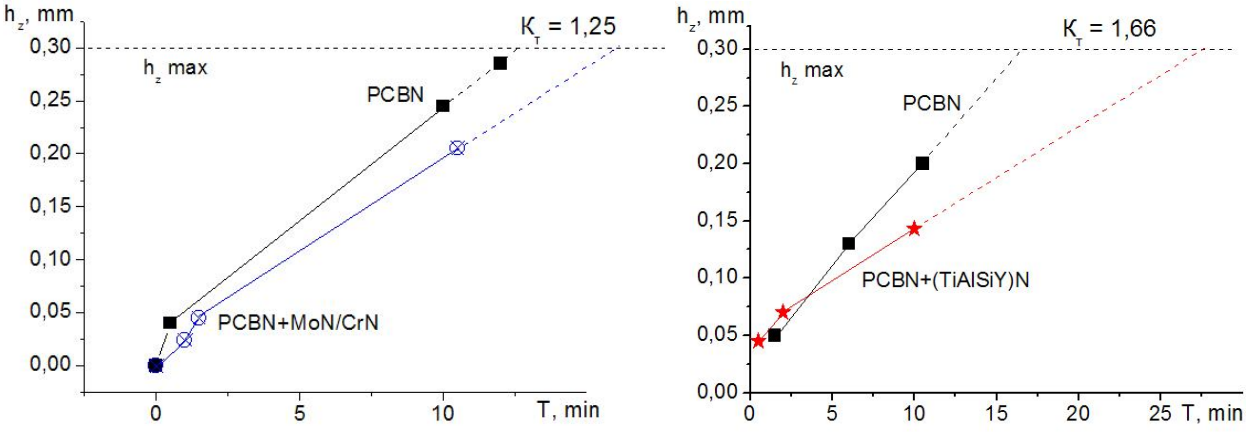
- многослойным, состоящим из чередующихся слоев MoN и CrN (толщина каждого слоя около 10 нм). Твердость – $HV_{0,05}$ = 38 ГПа. Толщина ~ 4,8 мкм;
- гетеромодульным наноструктурным композиционным покрытием (TiAlSiY)N, представляющим собой нанофазу TiAlN в матрице Si_3N_4, легированную добавкой Y. Твердость – $HV_{0,05}$ = 49,5. Толщина ~ 5 мкм.

Выбор указанных покрытий связан с их высокой прочностью, обусловленной особенностями структуры, затрудняющей развитие трещин в массиве покрытия, а также 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_z = 0,3 мм. Как видно на графиках (рис. 1), минимальный износ после 10 мин резания наблюдается у режущего инструмента с ПСТМ+(TiAlSiY)N и составляет 0,14 мм (v = 85 м/мин). Для инструмента ПСТММоN/CrN величина h_z при T = 10 мин составляла 0,20 мм (v = 75 м/мин). Для сравнения, износ інструментов с ПСТМ без покрытия при указанных скоростях в контрольный момент времени достигал 0,24 и 0,20 мм соответственно. На основании экстраполяции можно предположить, что коэффициент увеличения стойкости по отношению к базовому инструменту с ПСТМ «борсинит» для первого и второго типов покрытия достигнет значений 1,25 и 1,66 раза.

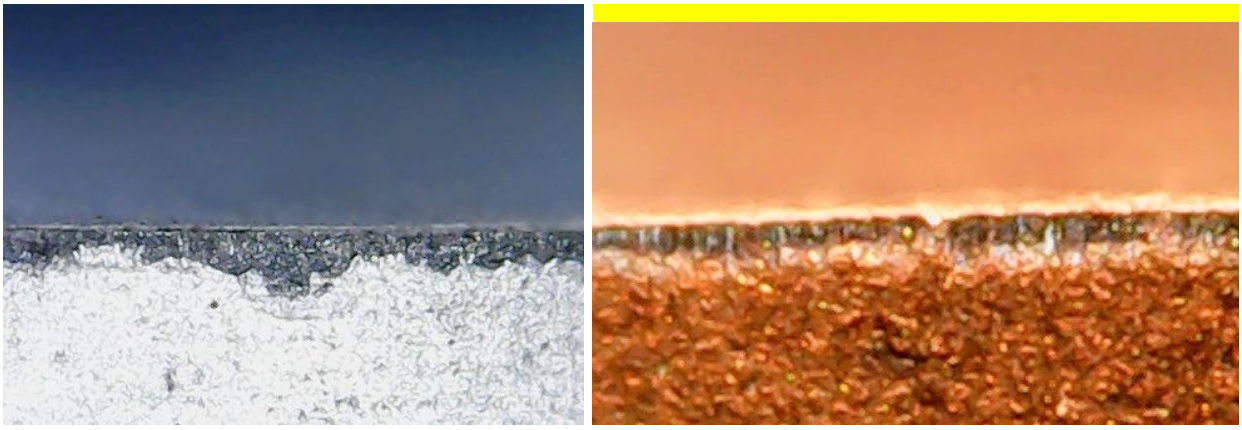
Характерной особенностью изнашивания инструментов с покрытием в указанных условиях резания является наличие переходной зоны между собственно фаской износа на подложке – сверхтвердом композите и поверхностью с покрытием, которая не подвергалась трению об обработанную поверхность. Она появляется вследствие когезионного разрушения покрытия и его истирания (рис. 2) и особенно заметна в период приработочного изнашивания инструмента. Следует также отметить, что когезионное разрушение, весьма характерное для MoN/CrN, для второго типа покрытия наблюдается реже. Еще одной отличительной чертой кинетики из-

нашивания покрытий на инструменте с ПСТМ 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 1 – Зависимость износа пластин с покрытиями из КНБ:
а – MoN/CrN, *v* = 85 м/мин; *б* – (TiAlSiY)N, *v* =75 м/мин



а *б*

Рисунок 2 – Фаска изнашивания на задней поверхности инструмента после 1,5 мин резания: *а* – ПСТММoN/CrN; *б* – ПСТМ+(TiAlSiY)N

Полученные результаты свидетельствуют об особой перспективности покрытия (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 инструмента без использования экстраполяции.

Мироненко Є.В., Міранцов С.Л. Донбаська
державна машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Собівартість та конкурентоспроможність продукції машинобудування в значній мірі залежать від вартості енерговитрат на механічну обробку деталей машин. За даними роботи [1] питома частка вартості енерговитрат в загальній собівартості продукції машинобудування становить від 15 до 25% та характеризується тенденцією неухильного зростання в зв'язку з постійним підвищенням цін на електроенергію.

У структурі продукції підприємств вітчизняного важкого машинобудування значну питому частку займають деталі-тіла обертання (валки прокатних станів, ротори енергетичних установок та ін.). У структурі технологічних процесів виготовлення таких деталей переважає токарна обробка, яка виконується на важких токарних верстатах, причому близько 70% часу витрачається на точіння циліндричних поверхонь.

Специфічними особливостями токарної обробки деталей важкого машинобудування, які зумовлюють високі енерговитрати на обробку, є:

- великі значення потужності електродвигуна приводу головного руху (ПГР) верстата, що обумовлюють високий рівень абсолютних витрат (втрат) енергії при заданому значенні питомих витрат (втрат);
- великі припуски на обробку деталей, які обумовлюють високі силові навантаження в зоні різання;
- великі втрати електроенергії при роботі електродвигуна ПГР верстата на холостому ходу під час зміни ріжучої пластини (різцевого блоку) внаслідок відмови.

Загальна структура математичної моделі для визначення оптимальних технологічних параметрів енергоефективних процесів механічної обробки деталей важкого машинобудування передбачає вирішення оптимізаційної задачі виду [2]:

$$Q = extr\left\{ f\left(x,\omega\right) \middle| x \in D \right\}$$

з системою обмежень виду:

$$g\left(x,\omega\right) \le 0 \; ; \; f\left(x\right) \le 0 \; ; \; a_i \le x_i \le b_i \; .$$

Цільова функція мінімуму питомої енергоємності різання, виражена через параметри моделі, що керуються, може бути представлена у вигляді:

$$e = f(S,v) = \frac{C_{P_z} \cdot t^{x_{P_z}-1} \cdot S^{y_{P_z}-1} \cdot v^{n_{P_z}} \cdot K_{P_z}}{6120} \to \min,$$

де для заданого переходу обробки $C_{P_z} = const$, $K_{P_z} = const$, $t = const$.

Пошук екстремуму цільової функції $e = f(S,v) \to min$ виконується в області D припустимих значень керованих параметрів моделі, що задається системою обмежень по характеристикам обробки.

При розробці моделей багатокритеріальної оптимізації для визначення енергоефективних технологічних параметрів токарної обробки деталей важкого машинобудування формування представницького набору критеріїв оптимізації повинно базуватися на викладених в роботі [3] принципах:

- принцип повноти (використання додаткових критеріїв не змінює результати, а відкидання хоча б одного критерію призводить до зміни результатів);
- принцип мінімальності (набір критеріїв оптимізації повинен містити якомога менше число критеріїв);
- принцип операціональності (кожен критерій повинен мати зрозуміле формулювання, однозначний сенс, бути зручним для розрахунків);
- принцип вимірності (кожен критерій повинен допускати можливість кількісної оцінки);
- принцип автономної інформативності (кожен критерій повинен містити якомога більше інформації, що не вичерпаною інформацією, що міститься в інших умовах і не є адитивною по відношенню до останньої);
- принцип економічності (набір критеріїв оптимізації повинен забезпечувати мінімальні витрати на реалізацію моделі).

Література

1. Карпов А.В. Об оценке энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием / А.В. Карпов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 61–68.

2. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов / В.К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.

3. Мироненко Е.В. Оптимизация режимов резания при обработке на тяжелых токарных станках с учетом энергозатрат / Е.В. Мироненко, В.С. Гузенко, Л.В. Васильева, О.Е. Мироненко // Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. праць. Тематич. Вип. «Технології в машинобудуванні». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – № 40. – С. 62–70.

Молчанов В.Ф. Днепровский государственный
технический университет, Каменское,
Днепропетровская обл., Украина

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЕ

В современном машиностроении для повышения качества деталей машин используют усовершенствованные технологии механической обработке. Для этого на финишных операциях металлообработки применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). СОЖ в процессе эксплуатации непрерывно и интенсивно загрязняются твердыми частицами металлообработки [1].

Для восстановления первоначальных свойств технологические жидкости очищают от механических примесей. Наиболее широкое применение получили способы очистки технологических жидкостей фильтрацией [2].

Использование фильтрации для очистки технологических жидкостей наиболее эффективно, так как при фильтрации через фильтрующую перегородку можно достигнуть полного извлечения твердых частиц из жидкости. Однако особенности строения порового пространства фильтрующей перегородки обуславливают ряд специфических явлений, возникающих при движении жидкости в каналах пористой среды.

Целью исследования является изучение закономерности процесса фильтрации технологических жидкостей через пористые материалы. При фильтрации технологических жидкостей через слой пористых материалов пористая среда фильтрующей перегородки деформируется с изменением ее пористости. Изменение пористости происходит за счет уменьшения объема пор порового пространства, так как твердые частицы вместе с жидкостью проникают в поры каналов порового пространства и зависают в них.

В рассматриваемой модели, процесс фильтрации шламовой суспензии протекает с постоянным закупориванием пор фильтрующей перегородки. При фильтрации с постепенным закупориванием пор на фильтрующую перегородку объемом $W_ф$, м^3, в которой содержится слой сыпучего пористого материала пористостью $П$, непрерывно поступает технологическая жидкость со скоростью $W_ж$, м^3 в минуту, в которой содержатся твердые частицы массой $к_о$, кг. Поступающие с жидкостью в поры каналов фильтрующей перегородки твердые частицы зависают и задерживаются в ней, а отфильтрованная жидкость продолжает двигаться с той же скоростью. Твердые частицы, зависшие в порах каналов фильтрующей перегородки, изменяют ее пористость и оказывают влияние на длительность процесса фильтрации [3].

Для определения пористости фильтрующей перегородки в любой момент времени и длительности процесса фильтрации жидкости через фильтрующий слой необходимо знать количество твердых частиц, зависших в порах сыпучего пористого материала фильтрующей перегородки. Для этого за независимое переменное примем время t, а за искомую функцию $y(t)$ – количество твердых частиц, зависших в порах каналов фильтрующей перегородки через t минут после начала процесса фильтрации. Определим, насколько изменится количество твердых частиц примесей в фильтрующей перегородке за промежуток времени t до момента $(t + \Delta t)$.

В одну минуту на фильтрующую перегородку поступает $W_ж$ (м^3) загрязненной жидкости, а в Δt минут – $W_ж \cdot \Delta t$, м^3 и в этих $W_ж \cdot \Delta t$, м^3 жидкости содержится $к_о \cdot W_ж \cdot \Delta t$, кг твердых частиц примесей. С другой стороны, за время Δt через фильтрующую перегородку протекает $W_ж \cdot \Delta t$, м^3 фильтрованной жидкости.

В момент времени t во всей фильтрующей перегородке объемом $W_ф$, м^3 содержится $y(t)$, кг твердых частиц примесей. Следовательно, в объеме $W_ф \cdot \Delta t$, м^3 содержалось бы $W_ф \cdot \Delta t \cdot y(t)$, кг твердых частиц примесей, если бы за время Δt количество твердых частиц в фильтрующей перегородке не прибавлялось. Но так как количество твердых частиц за это время увеличивается на величину, бесконечно малую при $\Delta t \to 0$, то и в объеме $W_ж \cdot \Delta t$, м^3 жидкости будет содержаться $W_{ж} \cdot \Delta t[y(t) + a]$, кг твердых частиц примесей, где $a \to 0$, при $\Delta t \to 0$.

Итак в жидкости, поступающей на фильтрующую перегородку, за промежуток времени $(t, t + \Delta t)$, содержится $к_0 \cdot W_ж \cdot \Delta t$, кг твердых частиц примесей, а в объеме пористого слоя фильтрующей перегородки, занимаемой жидкостью, содержится $W_{ж} \cdot \Delta t[y(t) + a]$, кг твердых частиц примесей.

Приращение твердых частиц за время $[y(t + \Delta t) - y(t)]$ равно разности найденных величин, то есть $[y(t + \Delta t) - y(t)] = \kappa_0 \cdot W_ж \cdot \Delta t - W_ж \cdot \Delta t\,[y(t) + a]$.

Полученное уравнение разделим на Δt и перейдем к пределу при $\Delta t \to 0$. В левой части уравнения получим производную $y'(t)$, а в правой – $\kappa_0 W_{ж} - W_{ж} y(t)$, так как $a \to 0$, при $\Delta t \to 0$.

Итак, имеем дифференциальное уравнение

$$y'(t) = \kappa_0 W_{ж} - W_{ж} y(t)\,. \qquad (1)$$

Для решения уравнения (1) приведем его к виду

$$\frac{dy}{dt} = \kappa_0 W_{ж} - W_{ж} y\,.$$

Проинтегрировав обе части этого уравнения, после соответствующих преобразований, получим

$$y(t) = c \cdot e^{-W_{ж} \cdot t} + \kappa_0\,. \qquad (2)$$

Так как, в начальный момент фильтрации, при $t = 0$, твердые частицы примесей в фильтрующей перегородке отсутствовали, то их количество $y(0) = 0$. Полагая в уравнении (2) $t = 0$ найдем постоянную интегрирования с

$$y(0) = c \cdot e^{-W_{ж} \cdot 0} + \kappa_0\,.$$

Откуда $c = -\kappa_0$.

Подставляя значение с в уравнение (2), получим

$$y(t) = \kappa_0 (1 - e^{-W_{ж} \cdot t})\,.$$

При $t - t_k$, в пористом слое фильтрующей перегородки задержится

$$m_T = \kappa_0 (1 - e^{-W_{ж} \cdot t})\,, \qquad (3)$$

где m_T – масса твердых частиц, кг.

Выведенная формула (3) позволяет определить массу твердых частиц, зависших и осевших в порах каналов сыпучего пористого материала фильтрующей перегородки в любой момент времени процесса фильтрации смазочно-охлаждающей жидкости с твердыми частицами металлообработки и вывести закон изменения пористости пористой среды.

Предполагая, что изменение пористости пропорционально приросту массы твердых частиц в пористом слое перегородки объемом $W_ф$, м^3, получим

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho_T \cdot W_ф}\,, \qquad (4)$$

где ρ_T – плотность твердых частиц, кг/м^3.

Так как при фильтрации шламовых суспензий через слой твердых частиц шлама пористая среда непрерывно деформируется, то уравнение неразрывности принимает вид

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}+П\frac{\partial \rho}{\partial t}+\rho\frac{\partial П}{\partial t}=0\,. \qquad (5)$$

Подставляя в уравнение неразрывности значения

$$\frac{\partial П}{\partial t}=\frac{dП}{dm_T}\cdot\frac{\partial m_T}{\partial t} \text{ и } \frac{\partial \rho}{\partial t}=\frac{d\rho}{dP}\cdot\frac{\partial P}{\partial t}\,,$$

Получаем

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}+П\frac{d\rho}{dP}\frac{\partial P}{\partial t}+\rho\frac{dП}{dm_T}\frac{\partial m_T}{\partial t}=0\,. \qquad (6)$$

После соответствующих преобразований уравнение неразрывности для деформируемой пористой среды окончательно принимает следующий вид

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}+\frac{П\rho}{\alpha}\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{\rho к_з W_{ж} e^{-W_{ж}\cdot t}}{\rho_T W_ф}=0\,. \qquad (7)$$

Из уравнения неразрывности выводим уравнение движения жидкости в деформируемой среде

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}=\frac{П\mu}{k\alpha}\frac{\partial P}{\partial t}+\frac{\mu\cdot к_з\cdot W_{ж}\cdot e^{-W_{ж}\cdot t}}{k\cdot\rho_T\cdot W_ф}\,. \qquad (8)$$

Уравнение (8) позволяет при заданных начальных и граничных условиях сформулировать постановку задачи фильтрации жидкости через слой твердых частиц деформируемой пористой среды фильтрующей перегородки.

Литература

1. Худобин Л.В. Влияние загрязнения СОЖ отходами шлифования на прижогообразование / Л.В. Худобин, Е.П. Гульнов // Вестник машиностроения, 1978. – №1. – С. 67–68.

2. Полянсков Ю.В. К методике исследования эффективной очистки СОЖ от механических примесей при абразивной обработке / Ю.В. Полянсков, Е.А. Карев // Тр. Ульяновского политехн. ин-та. – Куйбышев, 1976. – Вып.1. – С. 46–54.

3. Молчанов В.Ф. Исследование фильтрации жидкостей через пористые материалы / В.Ф. Молчанов // 3-я Всеукр. наук. конф. «Математичні проблеми технічної механіки». – Дніпродзержиськ, 2003. – С. 71–72.

Неведомский В.А. ООО «ТехноСКАРМ»,
Чернышов А.В., Губская Т.А. Днепровский государственный технический университет,
Чернышов А.А. ПАО «Днепровский металлургический комбинат», Каменское, Украина

НЕПРЕРЫВНО ЦИКЛИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ И КОНСТРУКЦИИ

В настоящее время разработаны и внедрены технологии изделий строительного и технического назначения для защиты агрегатов и оборудования от газоабразивного, агрессивного, высокотемпературного и радиоактивного воздействия с использованием физического тепла огненно-жидкого расплава шлака Никопольского завода ферросплавов, крупнейшего производителя марганцевых ферросплавов в мире. Создана и испытана технология *намораживания* на внутреннюю поверхность любых металлических конструкций и деталей слоя стеклокристаллического материала из жидких силикатных расплавов. Показаны современные технологические процессы и оборудование для переработки жидких и застывших шлаков ферросплавного производства.

Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных энергозатрат, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения потребительских качеств выпускаемых изделий нуждается в дополнительной термической обработке, что несколько усложняет их производство [2–3]. Уникальные свойства материала, разработанная технология литья изделий и футеровок различных геометрий и объёмов на основе огненно-жидких шлаков силикомарганца позволяют решать поставленные задачи. Шлаковое литьё – это камень, относящийся к материалам, долговечность которых превзошла тысячелетний рубеж и имеющих прекрасный союз физико-механических, химических, биологических свойств, которые нашли свое применение в промышленности и строительстве. Несмотря на все ухищрения современных исследователей, изобретающих все новые и новые сверхпрочные материалы, самым крепким и надежным все же остаётся камень – шлаколит. Не подвержен коррозии и старению, ржавчине и самым сильным колебаниям климата, не чувствительным

к воздействию электричества, он способен служить человеку веками [1–4]. В настоящее время изделия и конструкции из шлаколита нашли широкое применение в машиностроении металлургии, энергетике. Нами запатентовано технологию изготовления и конструкцию шлаколитого контейнера для захоронения радиоактивных отходов и токсичных веществ. Основными принципиальными преимуществами нового метода по сравнению со всеми существующими являются − сочетание интенсивного одностороннего теплоотвода, определяющего получение плотной мелкодисперсной структуры, с постоянным избыточным питанием фронта затвердевания перегретым расплавом в течение всего времени формирования отливки в кристаллизаторе, исключающим появление и газовой пористости, раковин, неметаллических включений и т.п.; − возможность управления процессом структурообразования. Шлаколитая внутренняя часть контейнера обеспечивает высокую надежность конструкции, так как прочность шлаколита достигает 550 МПа, что обеспечивает соблюдение необходимых требований по ударопрочности и отколу. Вынос радионуклидов из шлаколитой части, может быть оценен по величине коэффициентов диффузии катионов цезия и стронция, имеющих при 25 °С порядок величины 1^{-16}–1^{-18} $см^2/с$, не превысит 1^{-8} $г/см^3$ в сутки [4].

Шлаколиты не подвержены радиолизу, имеют высокую устойчивость к химическим и биологическим реагентам. Установлена стойкость шлаколита к действию больших доз излучения, даже при высоких температурах. Облучение дозами до 10^5 кГр, не оказывает заметного влияния на фазовый состав, микроструктуру и механические свойства литья. Высокая морозостойкость (до 300 циклов) в сочетании со способностью выдерживать большие нагрузки горных пород выгодно отличают данную конструкцию от бетонных, металлобетонных и других контейнеров. Эксперименты проводились на современном высокоточном оборудовании и отличались высокой достоверностью результатов. Эти факторы позволяют сделать вывод об обеспечении надежного хранения (захоронения) радиоактивных отходов, не утечки радионуклидов не менее 300 лет. Предлагаемая конструкция «металл-шлаколит» обеспечивает надежную транспортировку, погрузку и разгрузку контейнеров емкостью 0,5–4,0 $м^3$. Благодаря высокой твердости шлаколит используется в условиях экстремально сильных эррозивных нагрузок, которых зачастую не выдерживают сгибы металлических труб при транспортировке пульпы и золы ТЭЦ и электростанций. Трубы (рис. 1, *а*) и от-

воды, футерованные шлаколитом (рис. 1, *б*), были вмонтированы в действующие трубопроводы, по которым самотеком, с помощью гидро- или пневмотранспорта транспортировались металлическая стружка и шламы шлифовальных станков, уголь, кокс, концентрат, глинозем, различные шлаки.

а *б*

Рисунок 1 – Футерованные трубы (*а*) и элементы футеровки (*б*)

Кислотостойкие и щёлочестойкие футеровки труб, циклонов, гидроциклонов, интерьерная и промышленная плитка, емкости для захоронения радиоактивных отходов (РАО), которые быстро привлекли внимание производственников и промышленников, умеющих подсчитывать прибыль.

Так же изготавливаем интерьерную и промышленную плитку (рис. 2). Прочность исходного материала позволяет правильно уложенной дорожной плите 3000×2000×200 мм держать нагрузку 200 т/м^2 при ударной нагрузке 40 т/м^2 с высоты 1 м.

Рисунок 2 – Блоки и плитка

Поэтому плиты из шлаколита можно использовать при строительстве напольных складов, полов литейных и механических це-

хов заводов, для которых характерны экстремальные нагрузки на полы, что позволяет перемещать по поверхности крупногабаритные изделия, гусеничную технику и т.п.

Выводы. Результаты испытаний на предприятиях горно-металлургического комплекса Украины, России, Узбекистана подтвердили, что каждая тонна футеровки из шлаколита экономит до 14 т металлопроката, огнеупоров и бетона. Мы готовы сотрудничать со всеми организациями, предприятиями, специалистами и потенциальными инвесторами, заинтересованными и обеспокоенными состоянием дел по затронутым темам, комплексной проблеме, практически на всех этапах ее решения.

Литература

1. Неведомский В.А. Газоабразивостойкая футеровка циклонных аппаратов / В.А. Неведомский. – Сталь. – 1991. – № 11. – С. 80–82.

2. Неведомский В.А. Энергосберегающая технология стеклокристаллических изделий из огненно – жидких шлаков / В.А. Неведомский. – Сталь. – 1996. – № 2. – С. 21–22.

3. Неведомский В.А. Специальные виды литья из огненно-жидких шлаков для хранения радиоактивных и токсичных отходов / В.А. Неведомский, Н.С. Михайленко // Экология и промышленность. – 2008. – № 4. – С. 77–83.

4. Неведомский В.А. Принцип «zoro waste» при переработке шлаков ферросплавного производства / В.А. Неведомский, А.В. Чернишов А.А. Чернишов, Т.А. Губская // Зб. наук. праць Дніпродзержинського держ. техніч. ун-ту (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – Вип. 1(28). – С. 16–19.

Новік М.А., Юрчишин О.Я., Іващенко М.В.
НТУ України «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

СВЕРДЛОВИННІ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНІ ГЕНЕРАТОРИ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ

Забезпечення енергетичної незалежності України залежить в першу чергу від стану нафто- і газодобування, так і від процесу експлуатації свердловин. Від вирішення питання розвідки, розробки і

експлуатації нафтових і газових родовищ залежить повна віддача корисних копалин. Зменшення віддачі корисної копалини (нафти і газу) обумовлюється незадовільним станом привибійної зони свердловини. Погіршення стану привибійної зони може бути внаслідок закупорки макро- та мікротріщин, продуктивного пласту твердою фазою, фільтратом, буровим розчином, парафінами, солями, механічними домішками і асфальтомісткими компонентами і ін. Поліпшити віддачу корисної копалини свердловиною можливо або за рахунок прочищення існуючих мікро- та макротріщин (каналів) або створенням додаткових мікроканалів.

Питанню стимуляції нафтових та газових свердловин присвячено чимало як вітчизняних, так і зарубіжних робіт, в яких розглядаються різноманітні способи віддачі корисної копалини: хімічні, лазерні та гідродинамічні. При цьому, особливої уваги заслуговують пневмогідравлічні генератори коливань імпульсної дії.

В роботі розглядається статика і динаміка різноманітних пневмогідравлічних свердловинних генераторів коливань, які розроблені на кафедрі Конструювання верстатів та машин КПІ ім. Ігоря Сікорського і захищені патентами України: №32253, №94004, № 97511, № 110085 і № 118642. Запропоновані конструкції свердловинних пневмогідравлічних генераторів коливань характеризуються простотою конструкції, наземним розміщенням, високою надійністю і безпечністю в експлуатації. При робочому пневматичному тиску до 1 МПа в забої свердловини може створюватися додатковий тиск рідини до 50 МПа і більше. Створення високого додаткового тиску в привибійній зоні обумовлює «розрив» продуктивного пласту і гідропотік, який в свою чергу призводить до покращення провідності мікроканалів. Процес поглинання рідини продуктивним пластом контролюється витратомірним пристроєм. Об’єм рідини, що поглинається продуктивним пластом дає можливість оцінити степінь очистки мікроканалів від запираючих частин.

Дослідні зразки свердловинних пневмогідравлічних генераторів пройшли випробування на свердловинах з малим дебітом (або відсутнім) на Шебелинці, «Чернігівнафтогазі» і в Полтавській області на свердловині «Котляревського». Проведені випробовування показали, що запропонований спосіб дає можливість очистити привибійну зону від закупорюючих частин, які іншими способами не вилучались. По цій причині геологами, що обслуговують свердловини, були видані рекомендації про включення таких генераторів в технологічний цикл освоєння газових та нафтових свердловин.

Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Марініч М.А., Базалій Г.А., Пріхна Т.О. Інститут надтвердих матеріалів ім В.М. Бакуля НАН України, Київ, *Сизоненко О.М.* Інститут імпульсних процесів та технологій НАН України, Миколаїв, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ НАНОПОРОШКІВ АЛМАЗУ ДЕТОНАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ З ХІМІЧНО ОДНОРІДНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Нанопорошки алмазу детонаційного синтезу мають різноманітне застосування, в тому числі, в композиційних електрохімічних покриттях (КЕП) в якості компонентів, які забезпечують покращення закріплення та утримання абразиву в інструменті [1, 2]. Відомо, що металізація нікелем нанопорошків алмазу методом хімічного відновлення з гіпофосфітних термодинамічно стійких розчинів у присутності поверхнево-активних речовин призводить до утворення частинок порошку у вигляді капсул, які можна віднести до суміші субмікро- і мікропорошків низької зернистості [3]. КЕП, які отримано співосадженням металів (Cr, Ni , Cu, Au, Ag, Zn, Sn, Al, Fe,), сумішей (Ni + B, Sn + Pb, Sn + Sb, Ag + Sb) та нанопорошків алмазу детонаційного синтезу, порівняно з електрохімічним покриттям без нанопорошку, характеризуються підвищенням зносостійкості від 1,7 до 15,0 разів та корозійностійкості від 1,5 до 6,0 разів [4].

Дисперсна фаза (нанопорошок алмазу), яку вводять в електроліт, має забезпечувати стійкість суспензії як у водному середовищі, так і в електроліті. Відомо, що алмази детонаційного синтезу мають трьохшарову структуру: алмазне ядро; вуглецеву оболонку з ренгеноаморфних структур; поверхневий шар, що містить атомы вуглецю, нітрогену, кисню, оксигену, які формують спектр різноманітних полярних функціональних груп [5]. Така структура визначає властивості нанопорошків алмазу і відкриває широкі можливості модифікування структури та створення заданої периферійної оболонки частинки алмазу.

Мета роботи – розробка методу модифікування нанопорошку алмазу детонаційного синтезу з отриманням хімічно однорідної поверхні для застосування у складі композиційних покриттів шліфпорошків алмазів для шліфувального інструменту підвищеної зносостійкості.

Проведено дослідження методів формування поверхневих властивостей нанопорошків алмазу з хімічно однорідною поверхнею та встановлено закономірності впливу способів та режимів обробки на структуру, фізико-хімічні, адсорбційно-структурні та електрофізичні характеристики нанопорошку алмазу [6–11]. На підставі отриманої бази даних у ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України розроблено принципову схему та методологію рідиннофазного модифікування вуглецевих нанопорошків та отримання нанопорошку алмазу детонаційного синтезу з хімічно однорідною поверхнею, яка полягає в видаленні алмазної фази, її фракціонуванні та послідовному формуванні поверхневих властивостей.

Принципова схема отримання нанопорошку алмазу з хімічно однорідною поверхнею включає хімічне видалення (з продукту синтезу) домішок металів та їх сполук та неалмазних форм вуглецю, відмивку до нейтральної реакції промивних вод, подальшу ударно-хвильову обробку високовольтними імпульсними розрядами у рідині, седиментацію у динамічних умовах з отриманням порошку різних класів крупності, контрольну хімічну очистку та електрохімічну обробку окремо кожного класу.

Такий спосіб забезпечує отримання модифікованого нанопорошку алмазу детонаційного синтезу з характеристиками, які порівняно до характеристик вихідного нанопорошку марки АСУД99 (ТУ У 26.8-05417377-177:2007 «Нанопорошки алмазні ультрадисперсні» Державний реєстраційний №02568182/032999) мають суттєві зміни:

- зниження вмісту домішок у 2,7 рази; підвищення питомого електроопору до $5 \cdot 10^9$ Ом·м;
- підвищення однорідності за розмірами різних класів крупності у 1,6–3,5 рази;
- підвищення питомої площі поверхні на 5,6%, зниження адсорбційного потенціалу на 33,8 % та електрокінетичного потенціалу (ξ, мВ) на 48 %;
- збільшення в 2,7 рази хімічної однорідності поверхні порошку (встановлено за коефіцієнтом К за методикою [12]).

Література

1. Лавріненко В.І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енцикл. довідник / В.І. Лавріненко, Новіков М.В. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.

2. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. В 6-и т. – Т.3 Композиционные инструментальные материалы / Отв. ред А.Е. Шило. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ "АЛКОН" НАНУ, 2005. – 280 с.

3. Дуда Т.М. Свойства и области применения металлизированных тонкодисперсных алмазных и кубонитовых порошков / Т.М. Дуда // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 292–300.

4. Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы: синтез, строение, свойства и применение / В.Ю. Долматов // sktb-technolog.ru/detonation_ nanodiamonds.

5. Долматов В.Ф. Композиционные материалы на основе эластомерных и полимерных матриц, наполненных наноалмазами детонационного синтеза / В.Ф. Долматов // sktb-technolog.ru/composite_ materials_based_on_elastomeric_and_polymeric_ matrices /

6. Новиков Н.В. Физико-химические свойства новых марок алмазных нанопорошков детонационного синтеза / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, М.А. Маринич 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. 305–311.

7. Богатырёва Г.П. Влияние методов извлечения алмазных нанопорошков на их физико-химические свойства / Г.П. Богатырёва, М.А. Маринич, Г.С. Олейник и др. // Сверхтв. мат. – 2011. – № 3. – С. 85–95.

8. Богатырёва Г.П. Получение алмазных нанопорошков с химически однородной поверхностью / Г.П. Богатырёва, М.А. Маринич, Г.А. Базалий и др.// Сб.тез. докл. 3-й Международ. конф. «High-MatTech», 3–7 октября 2011 г., г. Киев. – К., 2011. – С. 273.

9. Базалий Г.А. Формирование физико-химических характеристик нанопорошков углеродных материалов под влиянием химического модифицирования / Г.А. Базалий, Г.Д. Ильницкая, Н.А. Олейник // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах: сб.науч. тр. – Мн.: ГНУ «Институт тепло- массообмена им. А.В. Лыкова» НАН Беларуси, 2013. – С. 65–73.

10. Базалий Г.А. Изучение электрокинетического потенциала алмазных нанопорошков детонационного синтеза / Г.А. Базалий // Породоразрушающий и метало-обрабатывающий инструмент – тех-

ника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. –К.: ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины, 2013. – Вып.16. – С. 329–335.

11. Ільницька Г.Д. Рідиннофазне активування та модифікування поверхні вуглецевих нанопорошків / Г.Д. Ільницька, Н.О. Олійник, О.М. Сизоненко та ін. // Сб. тез. докл. 9-й Международ. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий», 15–19 авг 2016 г., г. Коблево. – К., 2016. – С. 63.

12. М 28.5-292:2010 «Методика оценки степени химической неоднородности поверхности дисперсных алмазных нанопорошков».

Орлов Л.Н., Голякевич А.А.
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ Ø 0,9–1,2 ММ ПРОИЗВОДСТВА «ТМ.ВЕЛТЕК»

В настоящее время задача обеспечения необходимых и зачастую очень высоких критериев эффективности и качества металлоконструкций требует применения все более сложных сварочных и наплавочных материалов.

В развитых, в промышленном отношении, странах широкое распространение приобретает способ сварки и наплавки порошковыми и металлопорошковыми проволоками малого диаметра – 0,9–1,2 мм. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» разработана и внедрена в производство серия новых порошковых проволок малого диаметра для сварки и наплавки различных металлоконструкций и механизмов.

Сварка.

Основные преимущества газозащитных сварочных порошковых проволок ТМВ®:

- высокая скорость сварки
- высокая экономичность
- получение идеальной формы сварного шва;
- широкая возможность регулирования механических свойств металла шва;
- отсутствие разбрызгивания металла;
- малый расход проволоки;

- снижение выделения вредных аэрозолей на 30%;
- всепозиционная сварка.

Порошковая основа сварочной проволоки ТМВ®создает более высокую плотность тока на внешней металлической поверхности электрода по сравнению с цельнометаллической проволокой для MIG/MAG. Высокая скорость сварки аналогичного диаметра и при тех же значениях сварочного тока. Процесс плавления электрода ускоряется на 10-30% без снижения качества сварки и обеспечивает рекордно высокую скорость сварки по сравнению с MIG/MAG и ручной дуговой сваркой металлическим электродом.

Таблица 1 – Порошковые проволоки для сварки ∅ 0,9–1,2 мм производства «ТМ.ВЕЛТЕК»

Марка проволоки	Ø, мм	Защитная среда	Применение
ТМВ®-7-G	1,2	CO_2, Ar+ CO_2	Сварка низкоуглеродистых сталей средней прочности, в том числе судовых сталей. Обеспечивает всепозиционную сварку металлоконструкций. Применяется в судостроении, машиностроении, сварке строительных металлоконструкций, транспортном и грузоподъемном машиностроении
ТМВ®-МС5-G	1,0 1,2	Ar+ CO_2	Металлопорошковая проволока для сварки низколегированных высокопрочных сталей с пределом прочности до 700 МПа
ТМВ®-14-G	1,2	CO_2, Ar+ CO_2	Сварка теплоустойчивых сталей, восстановление геометрических размеров изношенных деталей
ТМВ®-1-О	0,9 1,0 1,2	Без защиты	Самозащитная порошковая проволока для сварки низколегированного тонколистового металла с пределом прочности до 500 МПа. Допускается сварка металла, покрытого окалиной, небольшим слоем ржавчины или загрязнениями машинного масла. Рекомендуется для ремонта кузовов автомобилей и сварки неответственных конструкций в полевых условиях

Благодаря очень высокой плотности тока сварку можно выполнять на более низких токах по сравнению со стандартной проволокой. За счет ионизации порошка проволоки достигается стабильный перенос металла по дуге в зону сварки. Оптимизацией систем легирования и микролегирования проволоки достигается высокий уровень ударной вязкости металла при отрицательных температурах.

Малый разогрев металла гарантирует отличную свариваемость, прочность и превосходную микроструктуру шва, отсутствие температурных напряжений, превосходные эксплуатационные характеристики металлоконструкции.

Наплавка.

Большое количество деталей машин и механизмов выходит из строя в процессе эксплуатации по причине истирания, ударных нагрузок, эрозии и т.д.

Наплавка является одним из основных методов создания покрытий с целью получения специальных свойств на поверхности изделий, а также восстановления изношенных деталей машин. Это позволяет решать одну из важнейших задач обеспечение оптимального соотношения свойств поверхности и объёма материала. В данном случае отпадает необходимость использования объёмнолегированных материалов и появляется возможность в известной степени решить кардинальную задачу машиностроения повышение надёжности и долговечности деталей в условиях эксплуатации.

ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» разработан ряд проволок, обеспечивающих наплавленный слой с уникальными износостойкими свойствами в широком диапазоне твердости.

Малый диаметр проволоки 1,0–1,2 мм позволяет ее использование на малогабаритных полуавтоматах в полевых и монтажных условиях без применения защитного газа. Малое тепловложение позволяет производить наплавку с высокими сварочно-технологическими свойствами на детали толщиной 3 мм, а также малогабаритные. Кроме того, возможность наплавки в вертикальном положении позволяет заплавлять точечные дефекты различных конструкций без демонтажа и специальной обработки.

Таблица 2 – Порошковые проволоки ∅1,2 мм для ремонтной и упрочняющей наплавки

Марка проволоки	Защитная среда	HRC, HB	Применение
ВЕЛТЕК®-Н250	CO_2, Ar+ CO_2	180–280	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа. Наплавка шкивов, катков, формирующих роликов и т.д.
ВЕЛТЕК®-Н290	CO_2, Ar+ CO_2, без защиты	220–340	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа. Наплавка зубьев шестерен и тормозных букс железнодорожных вагонов.
ВЕЛТЕК®-Н300	CO_2, Ar+ CO_2	280–380	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа также наплавка буферных слоев перед упрочняющей наплавкой. Наплавка шкивов, катков, формирующих роликов, посадочных мест подшипников и т.д.
ВЕЛТЕК®-Н350	CO_2, Ar+ CO_2	320–420	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа также наплавка буферных слоев перед упрочняющей наплавкой. Наплавка шкивов, катков, формирующих роликов и т.д.
ВЕЛТЕК®-Н390	CO_2, Ar+ CO_2	36–46	Умеренная стойкость наплавленного металла к разгару и износу. Наплавка роликов МНЛЗ
ВЕЛТЕК®-Н540	CO_2, Ar+ CO_2	50–56	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа в условиях повышенного удельного давления.
ВЕЛТЕК®-Н545	CO_2, Ar+ CO_2	54–58	Наплавка деталей, работающих в условиях трения металла о металл и абразивного износа. Ножи переработки вторсырья термопластом и ножи обработки древесины, упрочнение роликов правильных машин холодного проката
ВЕЛТЕК®-Н565	CO_2, Ar+ CO_2, без защиты	40–58	Используется для восстановления деталей, подвергающихся абразивно-ударному износу. Режущие кромки для холодной и горячей обработки, экструзивные шнеки и др.
ВЕЛТЕК®-Н634 (∅1,0 мм и ∅1,2 мм)	CO_2, Ar+ CO_2, без защиты	58–63	Наплавка упрочняющих слоев применительно к интенсивному абразивному износу при высоком давлении и незначительной ударной нагрузке. Рабочий инструмент в сельскохозяйственной технике, подающие шнеки и т.д.

Osadchii A.A. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Devin L.N., Starostina A.V., Garbuz T.A. V.N. Bakul Institute of Superhard Materials NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE USE OF MATERIALS BASED ON TiNi AND MAX-PHASES FOR VIBRATION DAMPING IN THE CUTTING PROCESS

Modern facilities, staffed by engineering enterprises require continuous growth of the efficiency of the machining, which is primarily determined by the performance and cost. Among the processes that are common machining, an important place belongs to contact interaction in the "tool-item", as this process has a significant impact on the quality of the surface layer, the tool life and efficiency of the flow adhesive and diffusion processes in the processing zone, and on the quality of workpieces in general. In the process of the machining of hardened steels there are significant fluctuations in the cutting forces due to which the process is accompanied by increased vibrations. Especially often there are fluctuations in turning difficult to cut hardened steel of high hardness and when using cutting plates with a large tool nose radius of rounding, round plates or at nonorthogonal turning. Currently, increasingly in the processing of such materials, the tools, equipped with polycrystalline superhard materials based on cubic boron nitride (CBN) are used. Finish turning of hardened steels by CBN cutting tool allows in some cases to refuse from grinding. Tools of cubic boron nitride have high hardness, but because of the relatively small tensile strength, are very sensitive to fluctuations and often fail not because of wear, but due to micro chipping or spalling of the cutting edge. Vibrations also lead to decrease of the accuracy and finished surface roughness, so their reduction is particularly important during the finish turning.

There are several methods to combat vibrations during cutting. Among the most common - the use of vibration dampers, the application of the cutting plate coatings, the use of tool holders of materials that have high damping properties. The advantage of damping materials using a high-damping is the ease (there is no need for special sometimes quite complex antivibration devices), the practical effect of damping was independent from the frequency, and, as a rule, wide operating temperature range.

In this regard, the aim of this study was to investigate the possibility of using in the design of cutting tool damping elements made of new materials with high damping properties for vibration damping in finish

turning of hardened steels, as well as determine the influence of these elements on the operational characteristics of CBN cutter.

Based on the operating experience of the CBN cutting tools we have developed a tool that contains elements of high damping materials [1]. For the study the damping properties of materials the system on the basis of the measuring instrument rack "Sound-107" [2], which consists of a spectrum analyzer SK4-59, broadband amplifier U3-32, matching amplifier, analog-to-digital converter ADA 1406, and a personal computer in the laboratory 18/1 the V.N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS Ukraine was developed. Pre-processing of the experimental data was performed in the software package PowerGraph 3.3 Professional [3]. As a result, a resonant frequency f_0 and the width of the resonance peak B which determined at height $0{,}707 \cdot U_{max}$ (U – the amplitude of the signal) were obtained. Subsequently, these data were used to calculate the damping properties of the material according to the method developed in the ISM of the NASU name after V.N.Bakul [4].

Damping characteristics of hard alloys, cast iron, cast or powdered ("avibrit") [5] nickel titanium TiNi, ceramics three phase Ti-Al-C and Ti-Si-C [6], and other materials for their subsequent use as a damping elements were determined (table 1).

Table 1 – The damping characteristics of the materials of inserts

Material	Logarithmic decrement δ, %
Steel 40H	0,202±0,001
WC-8%Co	0,296±0,017
GCl 15	0,667±0,023
Ti-Si-C	1,457±0,027
Ti-Al-C	3,007±0,021
TiNi (cast)	2,013±0,029
TiNi («avibrit»)	5,191±0,031

High damping characteristics of the materials based on TiNi and MAX phase systems Ti-Al-C and Ti-Si-C in comparison with the constructional steel and hard alloy, with satisfactory complex of physical and mechanical characteristics, have shown the expediency of their use as a damping element in the design of cutting tool.

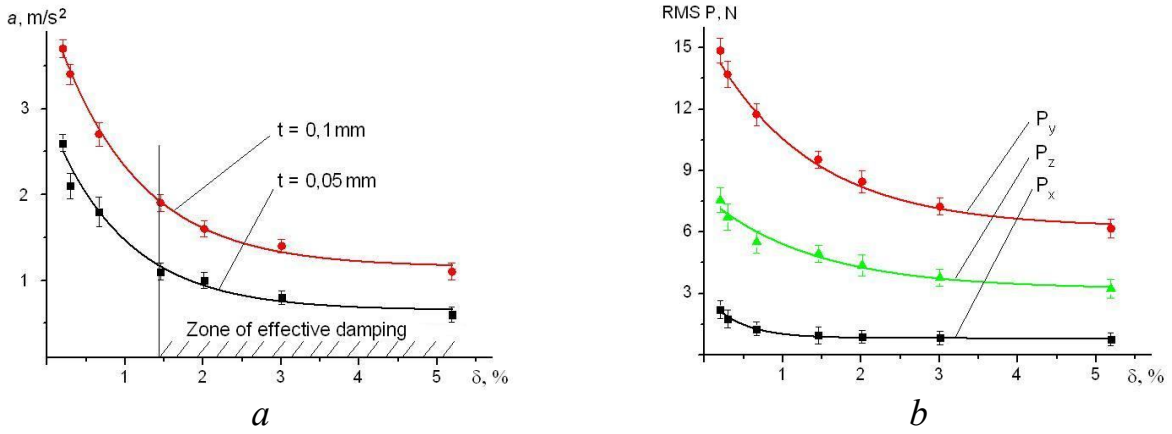
To assess the influence of damping elements on the cutting process the amplitude of the vibration accelerations and standard deviations (RMS) of the cutting force in finish turning of hardened steels were

measured. For measuring the cutting forces and vibrations during turning the automated system for the study of the cutting process was used, which was developed in the V.N. Bakul Institute for Superhard Materials NAS Ukraine [3].

The system consists of a increased accuracy turning machine TPK-125 BM, 3-component dynamometer UDM-100, strain test station "Topaz", accelerometer KD 35a, analog-to-digital converter ADA 1406, and a personal computer PC.

Experiments were carried out during machining of hardened (58 ... 62 HRC) steel HVG. The geometrical parameters of the instrument: γ = – 10°, α = 10°, φ = 45°, φ_1 = 45°. Cutting plates made from the CBN size SNMN-060312-M were used.

The obtained relationships are shown in Fig. 1.



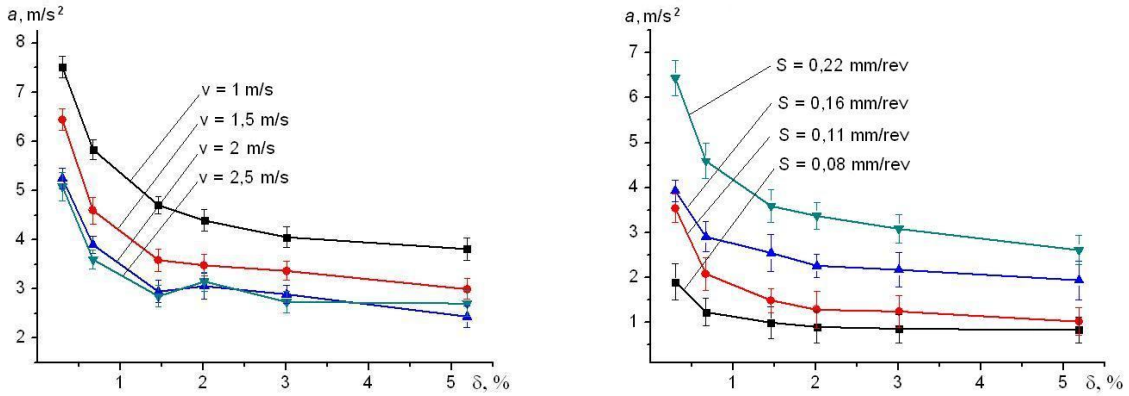
a *b*

Fig. 1 – Dependences the vibration accelerations *(a)* and standard deviation of cutting force components (*b*) from the logarithmic decrement of inserts (*v* = 2,1 m/s; *S* = 0,08 mm/rev)

Dependences of the values of the vibration accelerations from the damping characteristics of the cutting tool have exponential character (Fig. 1, a). The increase in the logarithmic decrement of damping inserts δ from 0,2 to 1,4 resulted in a decrease the vibration accelerations of cutter on 1,9-2,1 times. A further increase the logarithmic decrement is not significantly influenced on the amplitude vibration accelerations. Experiments have shown that the most effective material for inserts can be considered material with logarithmic decrement of oscillations $\delta \geq 1{,}4\%$.

The greatest influence damping inserts provided on the RMS value of the components of the cutting force P_y and P_z. Using inserts led to a decrease RMS component P_y in 2,0–2,5 times, and component P_z – in 1,4–1,7 times.

To study the influence of cutting conditions to the level of vibrations tools with different damping inserts the additional studies in finish turning of hardened steel U8 hardness 60–62 HRC were carried out. The research results are presented in Fig. 2.



a *b*

Fig. 2 – Dependences the vibration accelerations on the logarithmic decrement of damping inserts δ for different values of the cutting speed *v* (*a*) and feed *S* (*b*) (*t* = 0,1 mm)

From Fig. 2 shows that the use of damping inserts with $\delta \geq 1{,}4\%$ has reduced the vibration accelerations compared with hard alloys inserts to 1,7-2,0 times over the entire range of cutting speeds. With this increase of the cutting speed from 1,0 to 2,0 m/s resulted in a decrease of vibrations. This is due to the fact that with increasing cutting speed the temperature in the cutting zone is increased, which leads to a temper softening of the machined material and, as a consequence, to reduce cutting forces and vibration amplitude.

Increasing feed led to increase of the oscillations amplitude to 3,0–3,5 times. This shows that with increasing feed cutting force and, consequently, the amplitude of oscillations are increased.

Conclusions. The values area of the damping characteristics of the material to be used efficiently as a damping element in the construction of the cutting tool – the logarithmic decrement $\delta > 1{,}4\%$ was established. Using of the high damping materials has allowed to reduce the vibration acceleration amplitude compared with a standard tool in 1,7–2,0 times the standard deviations of the cutting force component P_y 2,0–2,5 times and component P_z – in 1,4–1,7 times.

Literature

1. Patent UA 57353 U. Cutting tool / L.M. Devin, O.A. Osadchyi. – Bull. – 2011. – № 4.

2. Devin L.M. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L.M. Devin, V.P. Bondarenko, O.A. Osadchyi, T.V. Nimchenko // Mat. Sci. – 2009. – 45 (3). – P. 392–398.

3. Devin L.M. Application Package Power Graph for the study of the process of cutting / L.M. Devin, A.G. Sulima // Industrial Measurement control, automation, diagnostics (PiCAD). – 2008. – № 3. P. 24–26.

4. Devin L.M., Osadchyi O.A. Improving operational characteristics of CBN cutting tools by increasing their damping properties / L.M. Devin, O.A. Osadchyi // Superhard Mat. – 2012. – № 5. – P. 62–71.

5. Shevchenko A.D. New material with high damping capacity / A.D. Shevchenko, A.A. Shulzhenko // Physics and technology of high pressure. – 1991. – V. 1, № 3. – P. 26–31.

6. Starostina A.V. Study of the damping properties of materials based on the MAX phase Ti_3AlC_2 / A.V. Starostina, T.A. Prikhna, O.A. Osadchyi, et al. // Problems of modern materials science. – 2011. – № 20. – P. 73–79.

Посвятенко Е.К. Національний транспортний університет, Київ,
Кравченко С.О. НТУ "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ВУЗЛІВ ТА ДЕТАЛЕЙ ДВОТАКТНИХ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛІВ

Інноваційні технології стосовно особливостей сучасних умов та потреб України є оптимальним напрямком розвитку у машинобудуванні, особливо у оборонній галузі. До цих технологій висуваються такі вимоги: наукова обґрунтованість; проривний характер; висока ефективність; помірні ресурсні вкладення; оперативність; використання існуючого обладнання. До об'єктів галузі належать танки, бронемашини, тягачі, важкі автомобілі тощо, які оснащено форсованими двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), переважно дизелями. Практично усі названі об'єкти є перспективними з позицій експорту, особливо у треті держави. Аналіз військових інтересів цих держав показав, що найбільш привабливою є техніка, яка на-

дійно працює в умовах високих температур (до +55 °С), сухого тертя та агресивного середовища.

Основними показниками машин є надійність і коефіцієнт корисної дії, що визначаються у першу чергу властивостями поверхневих шарів деталей і з'єднань: межею витривалості, корозійною стійкістю, коефіцієнтом тертя, зносостійкістю, контактною жорсткістю, міцністю посадок, герметичністю з'єднань тощо [1]. Зупинка машини через пошкодження окремих елементів або зниження технічних характеристик від допустимого рівня тягне за собою матеріальні збитки і катастрофічні наслідки (для оборонної техніки).

На відміну від традиційних технологій, проблема підвищення ресурсу і надійності роботи ДВЗ, як головного агрегату машини, може бути досягнута за рахунок комплексного застосування у одному процесі виготовлення чи ремонту кількох різнорідних технологій. Це: дискретне зміцнення робочих поверхонь деталей; формування регулярних макро- і мікрорельєфів; холодне пластичне деформування (ХПД); нанесення одно- та кількашарових покриттів, зокрема методами PVD та CVD; спрямованого мікродугового оксидування (МДО); комплексної обробки струмами високої частоти (СВЧ) та термічної обробки (ТО); безводневого азотування (БАТР); високощільної вакуумної обробки; вібропонижуючими методами за рахунок збільшення густини дислокацій у матеріалі деталі.

Практика показала, що найбільш надійними ДВЗ військових машин с позицій їх експлуатації у названих вище умовах є двотактний дизель. Цей дизель на відміну від інших рушіїв (чотирьохтактних ДВЗ, газотурбінних двигунів тощо) є найбільш простим, а значить і надійним. Принципова схема танкового двигуна 5ТДФ показана на рис. 1 [2].

Двигун 5ТДФ – це п'ятициліндровий, багатопаливний, двотактний турбопоршневий двигун з поршнями, що рухаються протилежно один одному, з рідинним охолодженням, безпосереднім суміше-утворенням, прямоточним продуванням, горизонтальним розміщенням циліндрів та двобічним відбиранням потужності.

Цей двигун має лопаточний нагнітач і газову турбіну, які жорстко з'єднані між собою. Нагнітач 2 служить для попереднього стиснення повітря, що подається у циліндри. Стиснене повітря необхідне для продування циліндрів і наддування, при якому збільшується вагове наповнення циліндрів повітрям. Це дозволяє збільшити кількість палива, що подається у циліндри, чим суттєво підвищує потужність двигуна. Газова турбіна 1 перетворює частину теплової

енергії відпрацьованих газів у механічну, яка використовується для приводу нагнітача. Оскільки цієї енергії не достатньо для приводу, її брак використовується поршневою частиною двигуна через редуктор 3. П'ять циліндрів, які розміщені горизонтально, мають: з одного боку, три ряди продувочних вікон 5, а з другого – випускні вікна 4. Продувочні вікна служать для надходження у циліндри свіжого повітря, а випускні – забезпечують випускання відпрацьованих газів, що обертають турбіну.

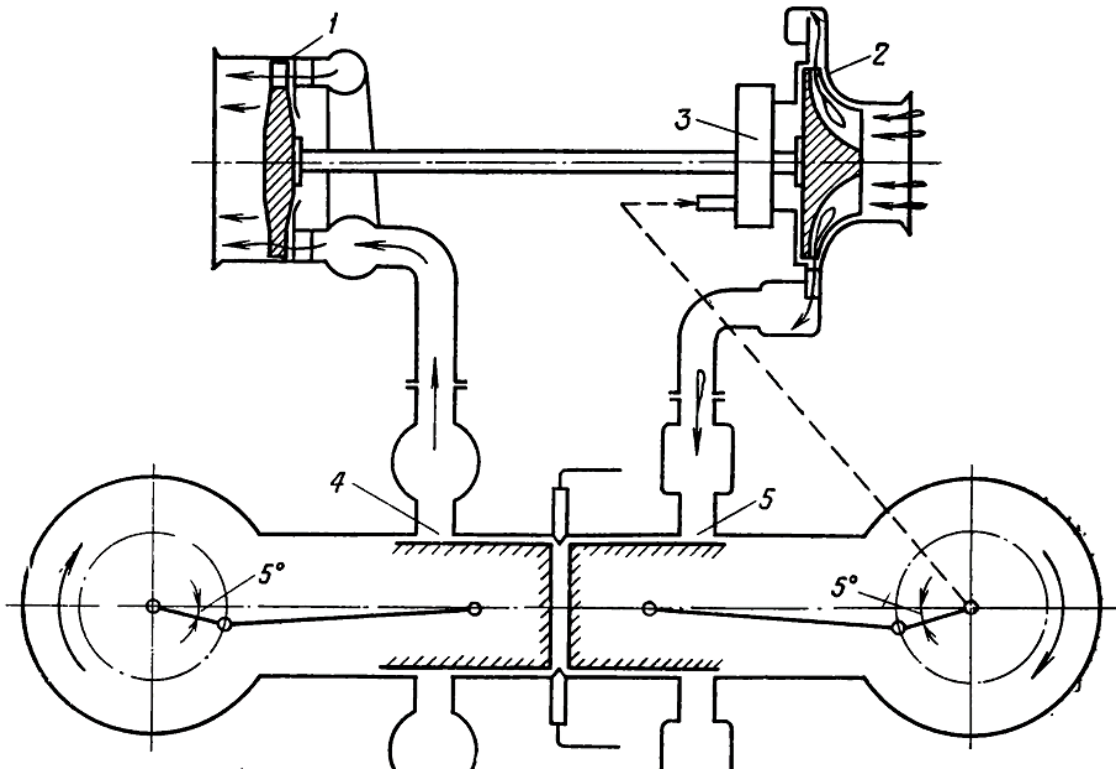


Рисунок 1 – Принципова схема двотактного двигуна 5ТДФ:
1 – турбіна, 2 – нагнітач, 3 – редуктор, 4 – випускні вікна, 5 – продувочні вікна. Напрямок руху повітря показано стрілкою, а напрямок руху відпрацьованих газів – фігурною стрілкою

Таке детальне вивчення принципової схеми двотактного двигуна на прикладі турбопоршневого танкового ДВЗ 5ТДФ потрібне для визначення основних важконавантажених деталей, які є перспективними щодо застосування інноваційних технологій. Коротко зупинимось на деталях та технологіях.

Деталі ДВЗ: колінчасті вали, зокрема шатунні та корінні шийки і галтелі, що з'єднують ці шийки з щоками; шатуни; поршневі пальці; циліндри; поршні з кільцями, зокрема маслознімаючими і жаровими, а також накладками; пара "плунжер–гільза" паливного насосу; лопатки турбіни і нагнітача; ексцентриковий вал і поршні компресора; силові болти.

Зубчасті передачі тут не розглядаються, оскільки зубцям цих передач повинно бути присвячене окреме дослідження.

Інноваційні технології.

Науковою основою інноваційної технології *дискретного зміцнення* робочих поверхонь чавунних і сталевих деталей є використання електророзрядів для керованого руйнування матеріалу з отриманням необхідних форм і розмірів [3]. Після дискретного зміцнення у поверхневому шарі виникають "плями" глибиною 0,3–0,4 мм, метал яких різко відрізняється від основного матеріалу. Це суміш цього матеріалу і зміцнювального матеріалу з електроду. При виборі останнього і розробці технології дискретного зміцнення критеріями оптимізації є: висока стійкість поверхні шийок колінчастих валів; підвищення втомної міцності деталі; підвищення термостійкості поверхні тертя; задиростійкість; оптимальне покриття зміцненими зонами (дискретність 40 – 60%); допустима ціна матеріалу електроду. Переваги цієї технології полягають у використанні відомого принципу Шарпі. При застосуванні технології дискретного зміцнення стальних колінчастих валів було отримано велику перевагу над традиційними континуальними технологіями. Дискретне зміцнення застосовується також при виготовленні і ремонті ексцентрикових валів компресорів танкових ДВЗ.

Формування регулярних макро- і мікрорельєфів призначене у першу чергу для створення на поверхнях тертя лабіринтів для мастила. Глибина канавок профілю починається з кількох мікрометрів, а технологією їх отримання може бути як різання лезовим та абразивним інструментом, так і різноманітні способи ХПД [3]. Технологія перспективна для гільз ДВЗ та інших пар тертя, де потрібне мащення.

Технологія мікродугового оксидування (МДО) забезпечує різні властивості поверхні і серцевини [3]. Спрямований вибір необхідних режимів та електролітів забезпечує формування надтвердих фаз. На деталях на основі алюмінію – це $\alpha - Al_2O_3$. Для ущільнюючих елементів поршня МДО-покриття забезпечує високі трибологічні властивості у парах тертя з традиційними матеріалами (чавун, сталь, бронза). Власне поршень обробка МДО захищає від високотемпературної газової ерозії і знижує температуру металу основи у 1,5 рази. Лопатки турбін та крильчатки насоса системи охолодження за рахунок підвищення кавітаційної стійкості після обробки МДО отримують підвищення стійкості до 10 раз.

Технологія структурної інженерії *іонно-плазмових багатоелементних покриттів* (PVD) була розроблена для блоків клапанів ви-

сокого тиску (штоків клапанів, плунжерів, втулок тощо). Завдяки використанню спрямованого іонного потоку високої швидкості стало можливим освоїти новий клас наноструктурних високотвердих покриттів на основі нітриду титану з високою твердістю і корозійною, абразивною та кавітаційною стійкістю. Додавання у покриття невеликої кількості кремнію та ітрію (1–2%) призводить до підвищення зносостійкості у 3 рази. Розроблення технології нанесення покриттів різних складів було викликано необхідністю подолання ефекту схоплювання.

Після *поверхневого гартування з нагрівом СВЧ* підвищується ерозійна стійкість лопаток турбіни. Пояснюється це тим, що поверхневий шар цих лопаток набуває дрібнозернистої структури із залишковими напруженнями стиснення та підвищення циклічної витривалості матеріалу. На сьогодні ця інноваційна технологія щодо лопаток турбіни є безальтернативною.

Цикл досліджень стосовно позитивного впливу *холодної пластичної деформації* на підвищення оброблюваності різанням, зниження шорсткості поверхонь, вібрацій та шкідливої дії концентраторів напружень дозволив установити причину цього впливу. Оптична та електронна мікроскопія показали, що густина дислокацій у пластичних матеріалах, у першу чергу, легованих сталях, зростає на 2 – 3 порядки при деформаціях 40–90% [4]. Ця інноваційна технологія особливо перспективна для вигладжування перехідних поверхонь типу галтелей колінчастих валів.

Розробка комбінованої технології за схемою *"об'ємна ХПД – обробка різанням з екологічно чистими мастилами рослинного походження – прецизійна термообробка"* стосується деталей із жаро- і зносостійких сталей ДВЗ [5]. Цю технологію слід використовувати при виготовленні вузлів двигуна, що працюють в умовах високої температури та абразивного зношування, оскільки можлива заміна звичайних легованих сталей на аустенітні.

Перспективним також є зміцнення поверхонь одним із методів інженерії за попередньо визначеною епюрою зношування. Ними можуть бути поверхні поршня, на які опираються ущільнюючі елементи (кільця).

Розроблені та впроваджені технології зміцнення елементів танкових двигунів серії 5ТДФ та 6ТД для модернізації танків «Булат» та перспективних танків «Оплот» (рис. 2), що дає змогу досягти сучасного рівня тактико-технічних характеристик та успішно протидіяти сучасним бойовим машинам противника у ході реальних бо-

йових дій. Важливим результатом впровадження запропонованих інноваційних технологій зміцнення поверхонь високонавантажених деталей ДВЗ при складному циклічному термічному і механічному навантаженні є те, що вони створюють умови для форсування вітчизняних танкових дизелів за їх потужністю.

Рисунок 2 – Форсовані двигуни 5ТДФ для модернізації бойових машин "Булат"

Висновок. Розроблені та впроваджені технології дають змогу забезпечити високотемповий розвиток машинобудівної галузі України. Більш того, існує певна множина проблем, які не можуть бути вирішені без застосування розроблених та впроваджених технологій. Це стосується, зокрема, створення перспективного танкового двигуна для вітчизняних танків. У цьому випадку без запропонованих у роботі інноваційних технологій неможливо забезпечити потрібні технічні характеристики деталей циліндро-поршневої групи, колінчастих валів, кривошипно-шатунних механізмів, трансмісій тощо.

Література

1. Марченко А.П. Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, О.В. Соболь, Е.К. Посвятенко і др. // Механіка та машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 1. – С. 234–245.

2. Двигатель 5ДТФ. Техническое описание. – М.: Военное изд-во Мин-ва обороны СССР, 1977. – 144 с.

3. Ткачук Н.А. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. – Харьков: «Щедра садиба плюс», 2015. – 259 с.

4. Посвятенко Е.К. Поліпшення розсіяння енергії у конструкційних сталях попереднім холодним пластичним деформуванням / Е.К. Посвятенко, О.В. Мельник // Управління проектами, систем-

ний аналіз і логістика. – К.: НТУ України «КПІ», 2016. – Вип. 17, ч. 1. Серія "Технічні науки". – С. 61–66.

5. Посвятенко Е.К. Відновлення деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 2. (32). Серія "Технічні науки". – С. 210–221.

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

УТВОРЕННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ РЕЛЬЄФІВ НА ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

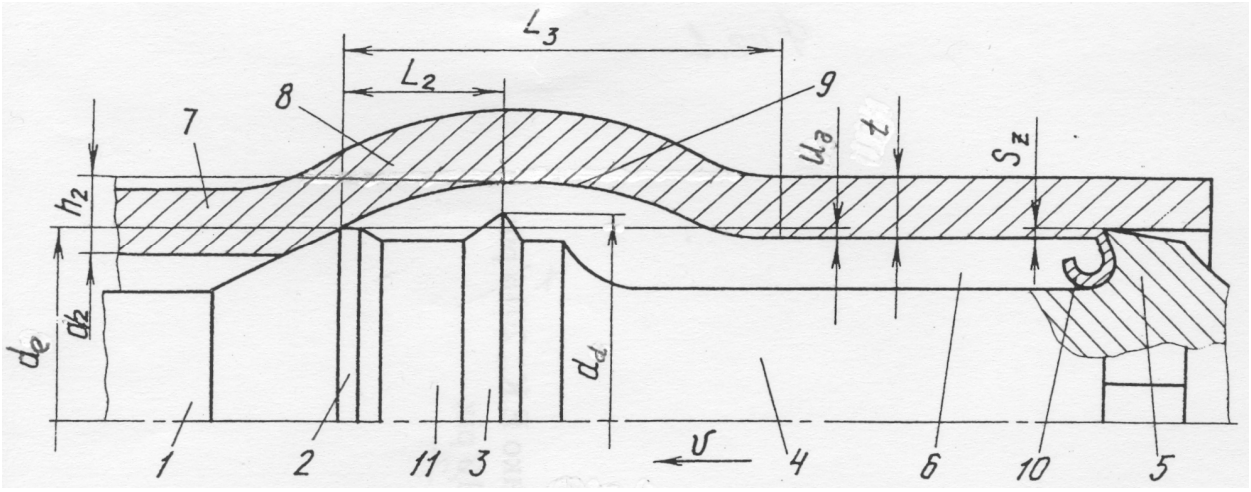
Типи рельєфів декоративно-естетичного призначення та методи і технології їх отримання ґрунтовно вивчені проф. Шнейдером Ю.Г. [1] та проф. Киричком П.О. [2]. Проте нами розглядались інші регулярні мікро- та макрорельєфи, котрі мають технологічне та експлуатаційне призначення.

Технологічна функція рельєфів полягає у попередньому примусовому поділі зрізуваного припуску канавками у процесах механічної обробки глибоких отворів деталей із пластичних матеріалів (сталі, латуні, алюмінієвих сплавів), коли утворюється міцна зливна стійка стружка. Нерідко завдяки цьому заходові стає можливою операція різального протягування.

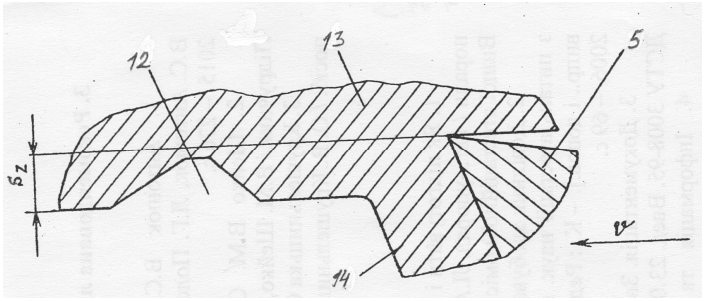
В основу способу отримання кільцевих канавок для поділу стружки покладено наступне контактне явище, що супроводжує деформуюче протягування. Після зупинки і наступного відновлення цього процесу на поверхні утворюється кільцеподібна канавка, яка відтворює профіль деформуючого елемента в області верхньої частини. Якщо між деформуючим кільцем та зубом комбінованої протяжки розмістити ділильний елемент оптимального профілю (кільцевий індентор), це дасть можливість отримати канавку, що поділяє зрізуваний зубом протяжки припуск. При статичному довантаженні ділильного елемента глибина канавки може досягти 0,2 мм [3].

На рис. 1 подано схему комбінованого протягування з розміщенням на протяжці кільцевого індентору, де 1, 11 – дистанційні втулки; 2 – деформуюче кільце; 3 – ділильний елемент; 4 – різальна частина із зубом 5; 6 – видовжена стружкова канавка; 7 – заготовка порожнистої

трубчастої деталі; 8 – рухома дільниця пружно-пластичної деформації; 9 – поверхня хвилі позаконтактної деформації з довжиною L_3, відстанню до максимуму L_2 і висотою h_2; 10 – валик стружки; 12 – кільцева стружкоподільна канавка; 13 – деталь; 14 – стружка. Складові процесу та інструменту: v – швидкість і напрям руху інструменту; S_z – припуск; t – товщина стінки заготовки; $a/2$ – натяг; U_∂ – пружне відновлення заготовки; d_e і d_∂ – діаметри відповідно деформуючого кільця і ділильного елементу.



а



б

Рисунок 1 – Схема комбінованого протягування інструментом з кільцевим індентором (*а*) та поділу припуску канавкою (*б*)

Для отримання технологічний канавок підвищеної глибини слід інтенсифікувати процеси ультразвуком [4] або застосувати спеціальний інструмент [5, 6].

Способи отримання канавок для поперечного та поздовжнього поділу стружки описано у технічних рішеннях на винаходи авторів за авторськими свідоцтвами 1199492, 1400807, 192865, 733193, 1188995 та патентом України 89326.

Ще одне призначення регулярних рельєфів – експлуатаційне. У цьому випадку рельєфи використовуються для виготовлення деталей пар тертя ковзання, зокрема, тих, що працюють під тиском робочого

тіла: гідро- та пневмоциліндри, амортизатори, стійки кріплення шахт, поршневі та плунжерні пари двигунів внутрішнього згоряння, компресорів, насосів тощо. У цьому випадку канавки служать об'ємами для мастил, лабіринтами для ущільнення пар тертя та ін. Якщо застосувати холодне пластичне деформування, то рельєфи на поверхні деталей можна отримати поєднанням деформуючого протягування з кульковим розкатуванням (А.С. 1549733). У цьому випадку інструмент оснащено рельєфним деформуючим елементом, що створює поздовжні канавки, а кулькова розкатка – канавки у напрямку подачі. Можливим також є одночасне з рельєфоутворенням заповнення лабіринтів твердим мастилом за один прохід інструменту (патент України 74723). Регулярні мікрорельєфи можна також формувати деформуючим протягуванням (патент України 119711).

Регулярні рельєфи експлуатаційного призначення використовуються для виготовлення осколочних оболонок бойових частин активних і реактивних снарядів, мін, авіаційних бомб, гранат [7, 8]. Так, для отримання поздовжніх і гвинтових канавок глибиною до 3 мм за якими відбувається поділ деталі на осколки при ініціюванні вибухової речовини нами запропоновано використовувати один із методів ХПД – редукування. Цей метод полягає у проштовхуванні трубної заготовки разом з фасонною оправкою крізь твердосплавну матрицю. Оправка має поздовжні виступи трикутної форми. Таким способом були отримані канавки на внутрішній частині корпусу авіаційної бомби (рис. 2).

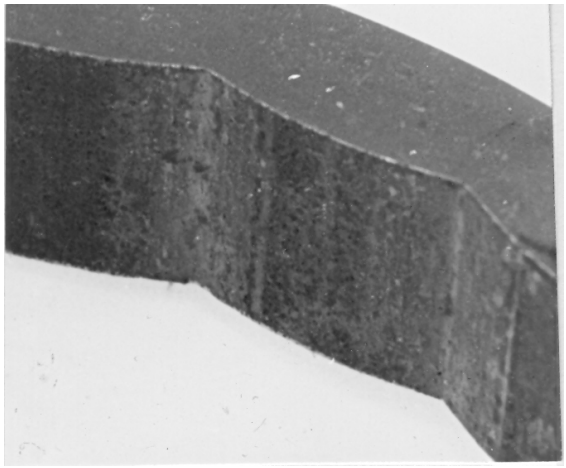


Рисунок 2 – Фрагмент внутрішньої частини корпусу авіаційної бомби з поздовжніми канавками, отриманими редукуванням

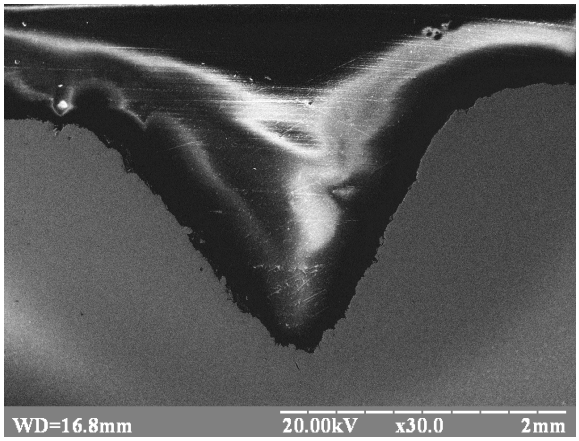


Рисунок 3 – Мікрофотографія канавки, отриманої заглибленням трикутного лінійного індентору (сталь Р18, HRC 66) у зразок зі сталі 30ХГСА: глибина канавки 2 мм, кут при вершині 60°

Гвинтові канавки для попереднього формування осколків ручних гранат рекомендується отримувати за запропонованим нами методом згідно з технічним рішенням за винаходом А.С. 1336369.

Наші експерименти щодо дослідження методу отримання канавок глибиною 0,005–5 мм методом холодного пластичного деформування було проведено на гідрофікованих пресах з зусиллям 0,2 МН і 63 МН (моделі Д–2238), а також на горизонтально-протяжному верстаті моделі 7Б56. Інструментом служили трикутні лінійні індентори із швидкорізальної сталі Р18 і з кутами при вершині 30–90° і радіусом округлення вершини 0,005 мм. На рис. 3 наведено приклад такої канавки [9].

Висновок. Метод заглиблення загартованого лінійного індентору із швидкорізальної сталі, який виконується холодним пластичним деформуванням зразків із пластичних матеріалів (сталь, латунь, деформівні алюмінієві сплави), дозволяє отримувати канавки трикутного профілю глибиною 0,005–5 мм з кутами при вершині 30° – 90°, що служать основою регулярних мікро- та макрорельєфів технологічного і експлуатаційного призначення.

Література

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярним микрорельэформ / Ю.Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1982 – 128 с.

2. Афтаназів І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням / І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.

3. Посвятенко Э.К. Новые методы деления стружки при протягивании глубоких отверстий / Э.К. Посвятенко // Повышение эффективности протягивания (качество обработки). Сб. науч. тр. – Рига: Рижский политехн. ин-т, 1990. – С. 64–4.

4. Посвятенко Е.К. Формування технологічних канавок на деталях машин методом пластичного деформування з ультразвуком /Е.К. Посвятенко, В.В. Турич, М.М. Чорнопищук // Резание и инструмент в технологических системах. – 1998. – Вып.52. – С. 169 – 172.

5. Интегрированные процессы обработоки материалов резанием: учебник / А.И. Грабченко, В.А. Залога, Ю.Н. Внуков и др.; под общ. ред. А.И. Грабченко и В.А. Залоги. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 451 с.

6. Посвятенко Е.К. Основи розрахунку протяжок для отримання гвинтових технологічних канавок / Е.К. Посвятенко, Ю.Б. Пала-

дійчук // Резание и инструмент в технологических системах. – 1999. – Вып. 54. – С. 206–210.

7. Марченко А.П. Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, О.В. Соболь, Е.К. Посвятенко і др. // Механіка та машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 1. – С. 234–245.

8. Ткачук Н.А. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. – Харьков: «Щедра садиба плюс», 2015. – 259 с.

9. Посвятенко Е.К. Модифікування поверхневого шару деталей безводневим азотуванням у тліючому розряді інтенсифікованим холодним пластичним деформуванням / Е.К. Посвятенко, А.В. Рутковський, В.В. Алєксєєв // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2010. – Вип. 21, ч. 2. – С. 60–63.

Родічев Ю.М., Шабетя О.А., Сорока О.Б.
Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка
НАН України, Київ, Україна
Веєр Ф. Делфтський технічний університет,
Делфт, Нідерланди

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ СКЛА НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ КРИВИХ СТАТИСТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

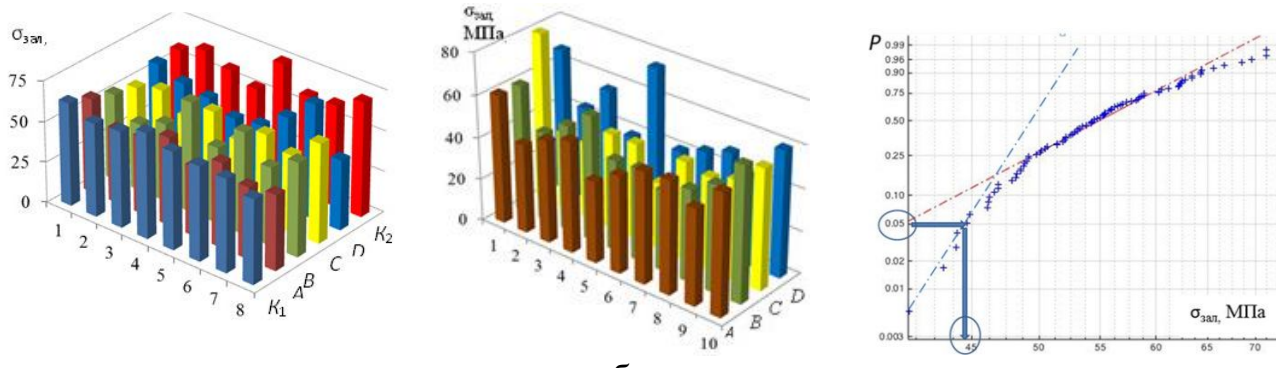
Виходячи з гіпотези «слабкої ланки», руйнування несучих термозміцнених склоелементів будівельних конструкцій, транспортного скління, в тому числі елементів скління кабін пілотів, слід очікувати у «слабких» місцях, де у сукупності мають бути статистично забезпечені наступні умови – найменший рівень залишкових напружень стиску, створених при загартуванні, та мінімальний рівень залишкового опору загартованого скла, обумовлений негативним впливом найбільших дефектів поверхні. Тому важливим є визначення реального розподілу залишкових напружень на поверхні склоелементів.

Традиційні способи контролю ступеню загартування, які передбачають контроль напружень стиску лише у декількох точках

(за EN нормами – у п’яти: по 4-х кутах та у центрі робочої частини зразка з довжиною 200 мм та шириною 365 мм) дають обмежену кількість даних. Для визначення фактичного рівня напружень стиску термозміцненого скла у співробітництві з Ф. Веєром було використано розроблену ним у TU Delft методику експериментального дослідження залишкових напружень на спеціальних зразках із застосуванням лазерного інтерферометру Scalp 4 [1, 2].

Напруження вимірювали при повздовжньому та поперечному напрямках орієнтації голівки вимірювача для визначення компонентів двовісного напруженого стану та оцінки їх неоднорідності. Зразки для досліджень термозміцненого скла мали розміри в плані 800мм х 600мм та товщину 4, 6, 8, 10 та 12 мм. Вимірювання проводили в клітинах 100×100 мм, на які розмічено пластину. Клітини вздовж довшої сторони позначили цифрами від 1 до 8, а вздовж коротшої сторони – буквами A, B, C, D. Залишкові напруження в крайових зонах пластин закономірно мають більші значення, ніж у внутрішніх ділянках, їх мінімальні та максимальні значення становлять 43,5 МПа та 89,2 МПа для скла товщиною 10 мм.

Значення залишкових напружень стиску в термозміцненому склі, виміряні при повздовжньому та поперечному напрямках орієнтації голівки вимірювача для пластини товщиною 6мм представлено на рис. 1. Для скла товщиною 6мм мінімальні значення залишкових напружень в повздовжньому та поперечному напрямках становлять 41,4 МПа та 31 МПа відповідно, а максимальні – 67,7 МПа та 75,3 МПа. Середній рівень складає 55 МПа для об’єднаної вибірки. Розподіл величин залишкових напружень не є мономодальним (рис. 1, *в*).



а б в

Рисунок 1 – Нерівномірність значень залишкових напружень в пластині скла 800×600×6 мм, виміряних при повздовжньому (*а*) та поперечному (*б*) напрямку орієнтації головки вимірювача

Представлена на рис. 2 мультимодальна залежність залишкових напружень стиску для стекол різної товщини відображає 3 групи значень напружень: нижня гілка відповідає напруженням нижче 45 МПа, середня ділянка відповідає діапазону 45–60 МПа, верхня гілка залежності – для значень напружень більше 60 МПа.

Для забезпечення гарантованого рівня надійності більш значимою є нижня ділянка, яка може бути використана для прогнозування мінімального гарантованого рівня залишкових напружень $\sigma_{зал}$ при заданій низькій довірчій імовірності. Довірчій імовірності 0,01 відповідає $\sigma_{зал0,01} = -35$ МПа, що становить 70% від середнього значення залишкових напружень $\sigma_{зал,0,50} = -50$ МПа.

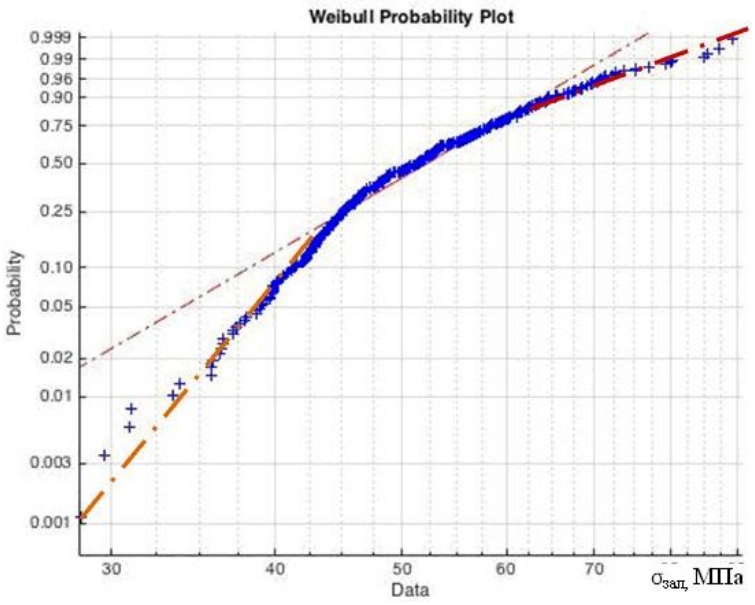


Рисунок 2 – Розподілення Вейбула залишкових напружень для термозміцненого скла товщиною 3–12 мм

Отримані результати ретельного дослідження вказують на недостатність традиційних способів контролю ступеню загартування, які передбачають контроль напружень стиску лише у декількох точках.

Результати дослідження показали, що за відсутності ретельного інструментального контролю наведених при загартуванні напружень стиску, промислове обладнання не забезпечує однорідності розподілу ступеню загартування у окремих локальних ділянках поверхні деталей. Слід також зазначити, що встановлений значний розкид фактичного рівня напружень стиску у окремих частинах дослідженого зразка вказує на імовірність його збільшення за рахунок негативного впливу масштабно-технологічного ефекту при виробництві великогабаритних виробів. Тому актуальним є вдосконалення конструкції печі загартування скляних елементів і оптимізація режимів термічного зміцнення на основі детального аналізу ступеню неоднорідності загартування, щоб підвищити рівномірність залишкових напружень і, відповідно, забезпечити стабільність характеристик міцності відповідальних виробів.

Порівняння з експериментальними даними, отриманими раніше для залишкових напружень загартування за методикою ретельного дослідження залишкових напружень [2] на різних ділянках загартованого зразка розмірами 600×400 мм показало, що при максимальних значеннях напружень загартування 112,9 МПа, мінімальні значення становлять 28,0 МПа, що дорівнює мінімальним значенням напружень загартування для термозміцненого скла. Таким чином, підвищення інтенсивності процесу загартування не виключає імовірності отримання низьких значень напружень загартування, що може бути пов'язано з технологічними недоліками та недостатнім контролем технічного стану обладнання для загартування.

Література

1. Veer F.A. The relation between pre-stress and failure stress in tempered glass / F.A.Veer, Y.M. Rodichev // Proc. of Challenge glass 4, 2014. – Netherlands: TU Delft, 2014. – P. 287–295.

2. Veer F.A. Improving the engineering strength of heat strengthened glass / F.A.Veer, Y.M. Rodichev // Heron. – 2016. – V.61, № 2. – P.121–138.

Roik T., Vitsiuk Iu. NTU of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kiev, Ukraine

MANUFACTURING TECHNOLOGY OF THE COMPOSITE ANTIFRICTION ALUMINIUM ALLOY WASTES-BASED MATERIALS

The main task in the development of new composite antifriction materials is to increase the life of machines and mechanisms, for example, printing equipment.

Among antifrictional composite materials intended for severe operating conditions of higher loads and sliding speeds materials based on aluminium are well known [1–3].

Composite aluminium antifriction materials have advantages over cast ones because they have not such essential defect like liquation. But they have high cost which connected with high cost of powders' production technology. These factors limit to use composite materials based on aluminium.

The objective of the present paper is to develop an antifrictional aluminium wastes-based composite material for increased-duty conditions (sliding speed and higher pressure) and to study the formation of a film on the working surfaces of a friction pair at a sliding speed of 1.0 m/sec and a pressure to 5.0 MPa.

The subject of study is new material of aluminium alloy AK12MMgN (silumin) powder grinding wastes which were chosen like a basis for new composite antifriction material. Silumin AK12MMgN consists of different alloy elements.

Table 1 – Chemical composition of Silumin AK12MMgN

Element, wt.%											
Si	Cu	Mg	Zn	Sn	Mn	Cr	Ni	Na	Fe	Ti	Al
11.0-13.0	1.2-1.6	0.9-1.2	0.3-0.5	0.01-0.02	0.3-0.6	0.05-0.2	0.8-1.3	0.05-0.1	0.5-0.8	0.05-0.2	rest

Assortment of valuable alloy elements (Table) in microparticles of alloy AK12MMgN powder wastes is able to ensure high level of tribotechnical, physic and physic-mechanical properties of material.

Preparation of Powder Charge. At the researches it was developed complex making technology that consists of two main stages:

- First stage - technology of alloy AK12MMgN powder wastes *regeneration* (cleaning from abrasive and cutting emulsion);
- Second stage –technology of new materials manufacturing, including preliminary cold pressing and next hot pressing of specimens.

The technology of wastes regeneration has been created at the experimental researches.

This *regeneration technology* has 3 stages for obtaining clean aluminium alloy AK12MMgN powders:

Drying of moisture;

Annealing components of cutting emulsion;

Electric static (separating) cleaning against abrasives.

After regeneration the remains of abrasives were come to 5% and it was confirmed by metallographic analysis.

Overview of alloy AK12MMgN powder wastes microparticles after regeneration have been presented on Fig. 1.

Compaction. Last time well-known methods of hot pressing have taken the special significance for making antifriction materials of high density [2–5].

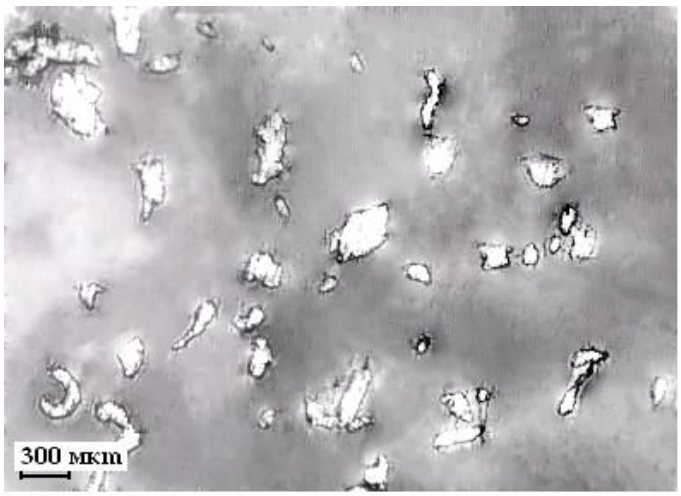


Fig. 1 – Overview of alloy AK12MMgN powder wastes microparticles after regeneration (on plastic plate)

These methods were used for development the new composite materials on silumin AK12MMgN wastes-based *manufacturing technology*.

During the experiments it was determined the technological properties, for example, packed density of regenerated silumin powder is 0.75 g/cm^3. This parameter is technological characteristic for ensuring the constant shrinkage.

Manufacturing technology has 2 stages:

1. *Preliminary Cold pressing*. Experimental samples have been manufactured at specific pressure 500 MPa and had a relative density 0.92. Pressing were carried out at hydraulic press PSU-125 for cold pressing.

Experimental samples of regenerated alloy AK12MMgN were pressed at room temperature in press-forms of different dimensions (for different tests):

1- in plug-and-socket press-form, dimensions 10×40 mm;

2- in bushing press-form, ø32×12 mm;

3- in cylindrical press-form, ø32 mm.

2. *Final Hot pressing*. A stage of cold pressed samples hot pressing was realized at the temperature of external heating 400 °C and loading 300 MPa. Hot pressing were carried out at hydraulic press for hot pressing with maximum nominal pressure 1.6 MN. This technological operation is necessary for obtaining maximum density of composite samples to avoid volume oxidation of materials during their next exploitation on air in printing machines.

Examination Techniques. The microstructure and abrasive remains of obtained new material AK12MMgN grinding wastes-based were researched by quantitative metallographic methods (Fig. 1) at images analyzer Leco IA3001 IMAGE SYSTEM (USA).

Physical mechanical properties were studied by standard methods [4, 5].

The antifriction properties of the cast alloy [4] and new composite were determined under liquid sliding conditions for comparison of properties between the cast aluminium alloy and new material of aluminium alloy AK12MMgN grinding wastes-based.

We produced a heterogeneous composite material consisting of a metal matrix and inclusions of abrasive remains. In turn, the structure consists of high-alloyed α-solid solution on the base of aluminium. In this solid solution there is an eutectic which is formed at silicon content of 11.6 wt.% which corresponds to the Al–Si phase diagram and seats as cellular structure of solid solution grains in whole matrix volume.

Analysis data shows the composite material of AK12MMgN grinding wastes-based doesn't yield to cast one by physical mechanical properties (Ultimate strength, Hardness, Impact elasticity), has a much lower coefficient of friction and wear rate than those of cast alloy AK12MMgN used in similar operating conditions, especially under loads up to 7 MPa.

Cast alloy AK12MMgN manufactured by traditional moulding method has liquations of alloy elements which becomes apparent as chemical composition heterogeneity in volume of material. As against cast alloy new composite material of wastes-based was produced (final hot-pressing method) of AK12MMgN powder microparticles which are microingots without any liquation. As a result the structure of such composite material is homogeneous and ensures higher level of properties.

References

1. Roik T. An influence of alloy elements for structure and properties of antifriction materials from silumin wastes / T. Roik. – Donetsk: DNTU, 2003. – V. 26. – P. 44–51.

2. Patent № 34407 Ukraine. Composite bearing material on the base of aluminium / T. Roik, A. Gavrish, O. Gavrish et al. Bulletin. – 2008 – № 15.

3. Roik T. Composite bearing materials for increased exploitation conditions / T. Roik, P. Kyrychok, A. Gavrish. – K.: NTUU «KPI», 2007. – 404 p.

4. Kyrychok P. Newest composite materials for friction parts of printing machines / P. Kyrychok, T. Roik, A. Gavrish et al. – K.: NTUU «KPI», 2015. – 428 p.

5. Gavrish A. Grinding and finishing of wear-resistant antifriction composite parts for printing machines / A. Gavrish, T. Roik, Iu. Vitsiuk, V. Oliynik. – K.: Publishing House "ArtEk", 2017. – Part 1. – 208 p.

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Кудрявцев Е.М. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 45

Сталь 45 относится к конструкционным углеродистым качественным сплавам, которые применяется для конструкций и устройств, функциональным назначением которых является устойчивость к высоким нагрузкам. Следует отметить, что сталь 45 относится к классу трудносвариваемых, поэтому она используется при изготовлении отдельных подвергаемых поверхностной термообработке деталей, от которых требуется повышенная прочность [1].

Для учета теплового расширения стали были проведены дилатометрические исследования, результаты которых учитывались при расчете акустических свойств и при построении температурной зависимости плотности и модуля Юнга стали. Измерения проводились как на отожженных, так и на закаленных образцах.

В работе исследовались свойства стали 45, химический состав которой по данным [2] представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав стали 45 по данным [2], масс.

Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
осн.	0,42–0.50	0,17–0,37	0,50–0,80	≤0,040	≤0,035	≤0,30	≤0,30	≤0,08	≤0,008	≤0,30

Опытное исследование скорости ультразвука в стали проводилось по разработанной авторами и аттестованной в ФГПУ «Стандартинформ» Методике ГСССД МЭ 216-2014. Значение скорости ультразвука при комнатной температуре определялось эхо-

импульсным методом [3]. В дальнейшем полученные результаты использовались в качестве опорных значений.

Для учета теплового расширения образцов на высокоскоростном термическом дилатометре DL-1500-RH были проведены измерения термического расширения стали. Полученные результаты позволили построить температурную зависимость плотности стали, значение которой при комнатной температуре определялось методом гидростатического взвешивания. Данные о скорости ультразвука и плотности позволили рассчитать значения модуля Юнга [4].

Исследование микротвердости проводилось методом непрерывного индентирования с использованием индентора Берковича в соответствии с международным стандартом ISO 14577–1.215, 2.215, 3.215 и 4.207 на автоматической установке NanoTest, позволяющей проводить измерения в диапазоне температур от комнатной до 500 °С. Некоторые особенности измерения микротвердости представлены в [5]. Математическая обработка диаграмм нагружения проводилась по методу Оливера-Фарра [6, 7].

Экспериментальное исследование скорости ультразвука и теплового расширения стали 45 проведено в температурном диапазоне от комнатной до 1100 °С, а микротвердости – до 500 °С.

На рис. 1 приведены экспериментальные данные о скорости ультразвука в отожженном и закаленном состояниях (рис. 1, *а*) и относительного температурного расширения (рис. 1, *б*) исследованной стали. Как видно из рис. 1, *а*, значения скорости ультразвука в отожженном закаленном образцах выше ~ 750 °С практически совпадают между собой, что показывает температурную область отжига стали. При этом заметного влияния на скорость ультразвука закалка практически не оказывает. Экспериментальные данные об относительном температурном расширении для отожженного и закаленного образцов, а также значения плотности, измеренные методом гидростатического взвешивания при комнатной температуре, совпали между собой.

Из рис 1а видно, что в диапазоне температур от ~ 650 до 800 °С наблюдается особенность в поведении температурной зависимости скорости ультразвука, связанная, с $\alpha \rightarrow \gamma$ превращением в стали [1]. На рис 1, *б* в этой области также наблюдается особенность, характерная для указанного фазового перехода. Подобное поведение исследованных свойств отмечалось авторами в работах [8, 9].

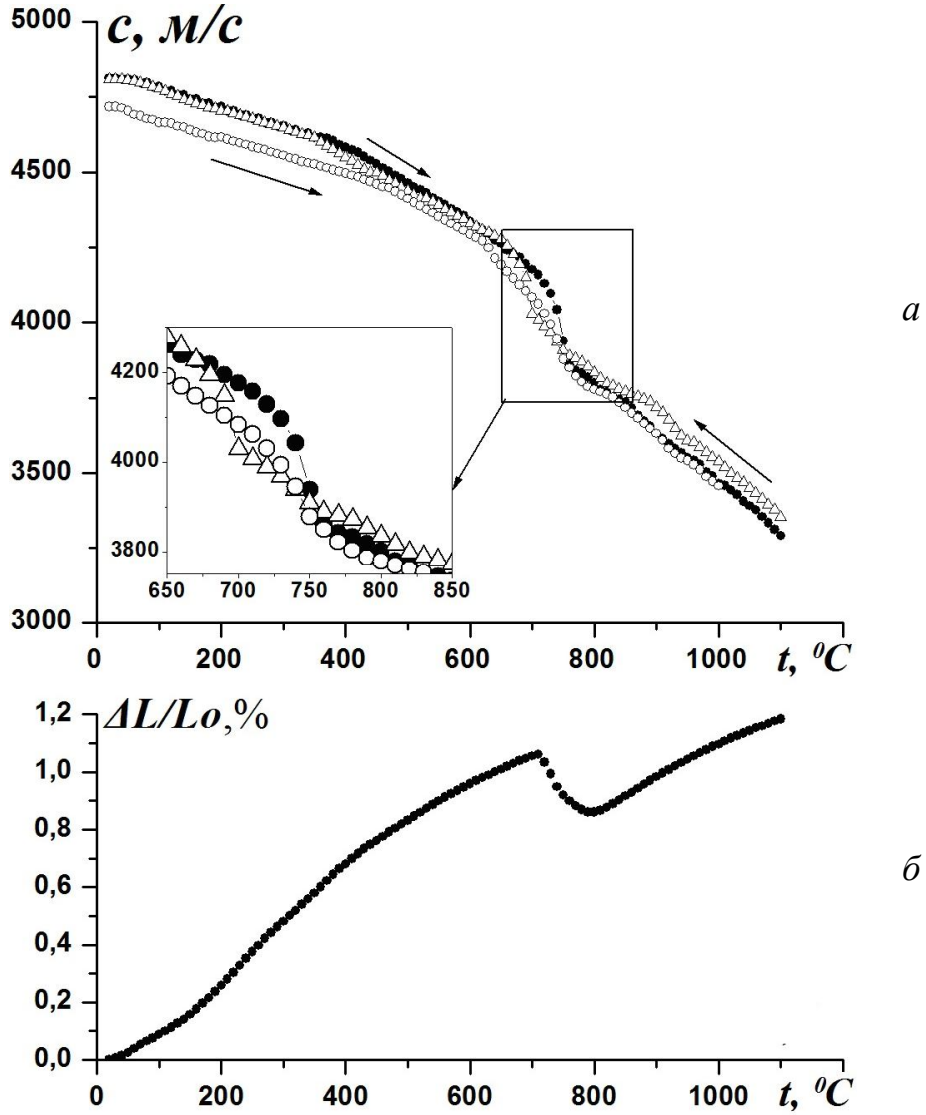


Рисунок 1 – Результаты экспериментального исследования скорости ультразвука (*а*) (отожженный образец: ● – нагрев, Δ – охлаждение; закаленный образец: ○ – нагрев) и относительного температурного расширения при нагреве (*б*) стали 45

Результаты измерений микротвердости показали, что закалка заметно повышает ее значение, однако, начиная с 200 °С, наблюдается резкое ее падение, что ограничивает использование стали в закаленном состоянии. На рис. 2 представлены расчетные значения модуля Юнга (а) и результаты исследования микротвердости (б) стали 45 в отожженном и закаленном состояниях.

Математическая обработка методом наименьших квадратов опытных и расчетных значений изученных свойств позволила получить аппроксимирующие уравнения для их температурных зависимостей в виде $Y = A + Bt + Ct^2 + \ldots$, где Y – свойство, t – температура (°С).

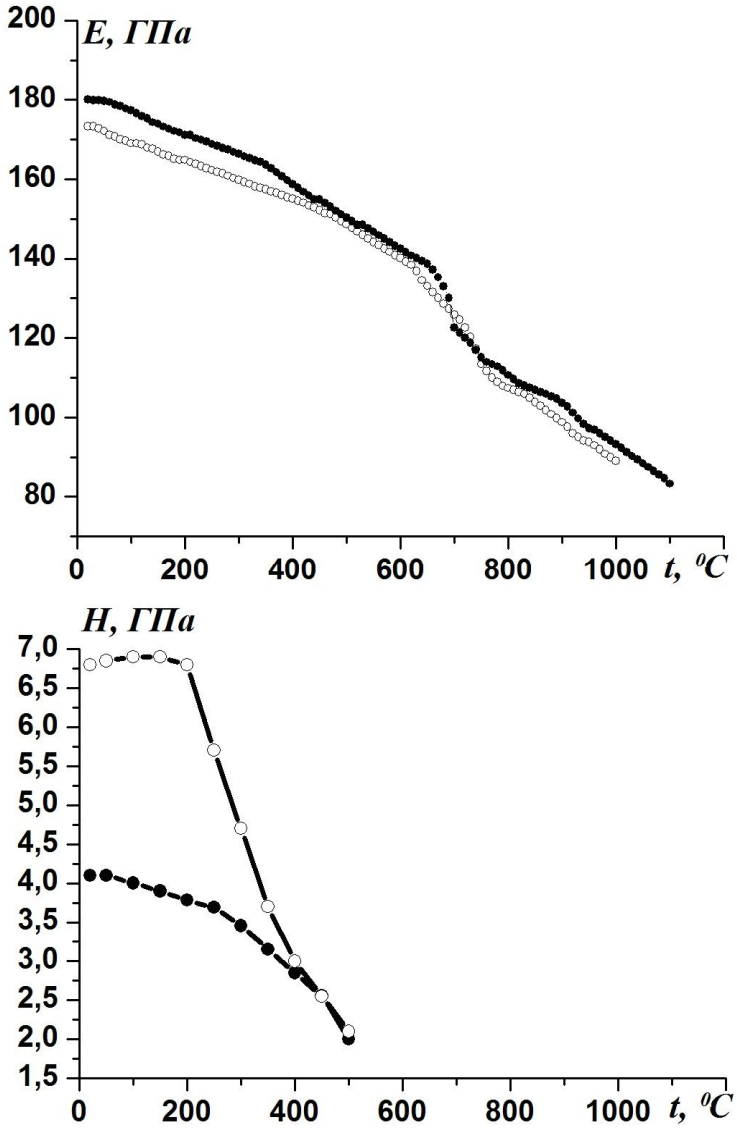


Рисунок 2 – Температурные зависимости значений модуля Юнга (*а*) и микротвердости (*б*) (● – отожженный и ○ – закаленный образцы при нагреве) стали 45

В математическую обработку включались экспериментальные значения исследованных и рассчитанных свойств при нагревании стали до температуры ~ 650 °С, выше которой наблюдались особенности в их поведении, и до 500 °С – для микротвердости. В табл. 2 приведены коэффициенты аппроксимирующих уравнений для свойств исследованной стали в температурном диапазоне 20–650 °С и микротвердости 20–500 °С.

Выводы. Приведены результаты исследования скорости ультразвука и микротвердости стали 45. Определены температурные границы фазовых превращений в исследованной стали. Определен температурный диапазон использования стали в закаленном со-

стоянии. Построены аппроксимирующие уравнения для температурных зависимостей ряда теплофизических и механических свойств исследованной стали.

Таблица 2 – Значения коэффициентов аппроксимирующих уравнений для стали 45

Свойства	*A*	*B*	*C*	*D*
Отожженный образец				
Скорость звука *c*, м/с	4819,2	–0,376	$-7{,}36\cdot10^{-4}$	–
Относительное температурное расширение $\Delta L/L_0$, %	–0,046	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$3{,}3\cdot10^{-6}$	$-4{,}0\cdot10^{-9}$
Плотность ρ, кг/м^3	7797,5	–0,320	$-3{,}0\cdot10^{-5}$	–
Модуль Юнга *E*, ГПА	177,05	–0,016	$-1{,}84\cdot10^{-4}$	$8{,}0\cdot10^{-8}$
Микротвердость *H*, ГПа 20–500 °С	4,06	$6{,}63\cdot10^{-4}$	$-9{,}3\cdot10^{-6}$	–
Закаленный образец				
Скорость звука *c*, м/с	4747,5	–0,977	$1{,}98\cdot10^{-3}$	$-2{,}7\cdot10^{-6}$
Модуль Юнга *E*, ГПА	170,00	$5{,}32\cdot10^{-3}$	$-1{,}2\cdot10^{-4}$	$2{,}9\cdot10^{-8}$
Микротвердость *H*, ГПа 20–200 °С 200–500 °С	 6,74 13,14	 0,003 –0,038	 $-1{,}3\cdot10^{-5}$ $3{,}14\cdot10^{-5}$	 – –

Литература

1. Марочник сталей и сплавов / под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

2. Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. ГОСТ 1050-2013. – М.: Стандартинформ, 2014. – 13 с.

3. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения / А.Е. Колесников. – М.: Изд-во стандартов, 1970. 238 с.

4. Физическая энциклопедия. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – Т. 4. – 706 с.

5. Ляховицкий М.М. Размерный эффект при непрерывном наноиндентировании / М.М. Ляховицкий, В.В. Рощупкин, М.А. Покрасин, Н.А. Минина // Сб. мат. VI-ой Всерос. конф. по наноматериалам с элементами научной школы для молодежи. – М.: ИМЕТ РАН, 2016. – С. 537–538.

6. Oliver W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation

experiments / W.C. Oliver, G.M. Pharr // J. Mater. Res. – 1992. – V.7, № 6. –P. 1564–1583.

7. Oliver W.C. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology / W.C. Oliver, G.M. Pharr // J. Mater. Res. – 2004. –V.19, № 1. – P. 3–20.

8. Новиков И.И. Экспериментальное исследование акустических свойств стали 20 / И.И. Новиков, В.В. Рощупкин, М.М. Ляховицкий, и др. // Перспективные материалы. – 2014. – № 6. – С. 79–84.

9. Рощупкин В.В. Экспериментальное исследование акустических свойств и микротвердости стали У8 / В.В. Рощупкин, М.М. Ляховицкий, М.А. Покрасин, Н.А. Минина // Металлы. – 2017. – № 2. – С. 23–28.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-08-00368а)

Саленко А.Ф. Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, Кременчуг,
Клименко С.А., Боримский А.И. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ЗАГОТОВОК ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА И КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Проведены исследования влияния режимов лазерной резки (ЛР), лазерной резки с охлаждением (ЛРО) и лазерно-струйной резки (ЛСР) на эффективность обработки заготовок из ТС и композита на основе кубического нитрида бора.

Показано, что часть материала заготовки, попадая в зону действия луча, расплавляется и испаряется в образованной парогазовой полости, причем на последнее расходуется значительная доля мощности излучения. Частицы КНБ, воспринимая тепло от ванны, нагреваются, возможно, до температуры перекристаллизации, и давлением парогазовой составляющей выталкиваются из ванны. Регулируя частоту следования импульсов и их длительность, можно достичь того, что струйный поток обеспечивает практически мгно-

венный теплоотвод, исключала распространения тепла за пределы ванны расплава. Такая циклическая резка осуществляется всякий раз, когда наступает пауза в действии лазера, а поток смыкает парогазовую полость.

Сравнение особенностей выполнения резов различными методами позволяет сделать следующие выводы: – ЛР с продувкой зоны обработки газом позволяет получать рез 0,18 мм при скоростях рабочей подачи до 300 мм/мин; в поверхностном слое заготовки наблюдается термическая деструкция, которая распространяется на 0,2–0,8 мм от линии реза; – ЛРО при тех же режимах позволяет увеличить глубину реза на 50–70%; при этом, зона термического влияния уменьшается до 0,10–0,55 мм, а ширина реза составляет 0,08–0,12 мм; – ЛСР имеет меньшую, по сравнению с ЛРО производительность и позволяет при тех же скоростях контурной подачи и мощности подводимой энергии получать рез 0,3–0,5 глубины ЛРО, однако ширина зоны термической деструкции не превышает 0,06 мм; – ЛРО и ЛСР обеспечивают на обработанной поверхности шероховатость > *Ra* 3,2–6,3.

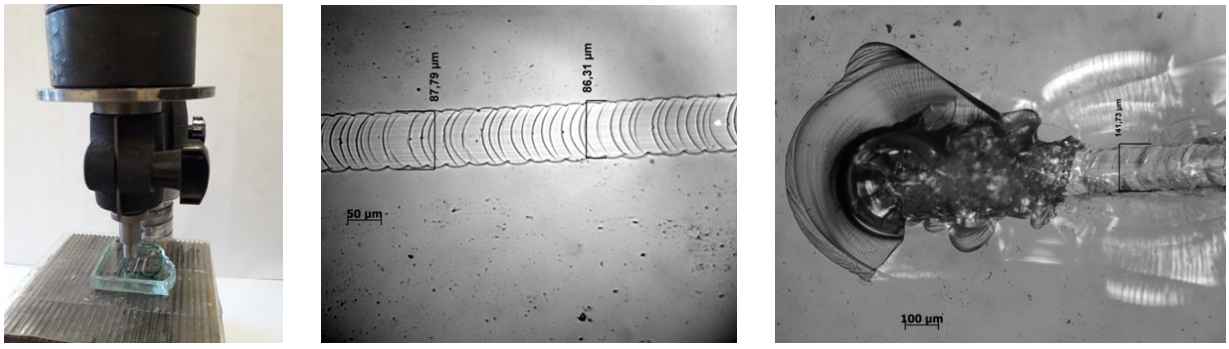
Сорока О.Б., Родічев Ю.М., Хворостяний В.В. Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна,

ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ЗМІЦНЕНОГО СКЛА ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПОВЕРХНІ ІНДЕНТОРОМ РОКВЕЛА

Визначення характеру пошкоджуваності поверхні скла у початковому стані та після проведення операцій його поверхневого зміцнення виконувалось методом дряпання індентором при прикладанні нормального зусилля(рис. 1,*а*). Нормальне навантаження на індентор залишалось постійним. Прикладення навантаження реалізовувалось за рахунок застосування еталонних мас. Експериментально досліджували пошкоджуваність скла у вихідному стані, після загартування та після іонного обміну.

Аналіз та порівняння результатів досліджень технічного скла у вихідному стані та загартованого скла товщиною 4мм показало, що:

Нижня границя навантаження при якому відбувається видиме в оптичний мікроскоп пошкодження поверхні скла при даних випробуваннях складає 16–20 Н. На початковому етапі для усіх видів стекол пошкоджуваність поверхні характеризується наявністю пружнопластичної подряпини у вигляді чередування поверхневих кільцевих тріщин Герца, ознаки появи латеральних тріщин або відколів скла не виявлено Для скла у вихідному стані ця стадія відповідає навантаженню на індентор P_N = 20,4–23,2 Н. Для загартованого скла діапазон навантаження, який відповідає початковому етапу пошкоджуваності становить P_N = 20,4–33,6 Н (рис. 1, *б*). При подальшому збільшенні прикладеного навантаження (P_N = 26,5 Н для скла у вихідному стані та P_N = 33,6–54,7 Н для загартованого скла) вид подряпини зберігався, проте на ділянках продряпування спостерігались латеральні тріщини і маломасштабні відколи, а ширина самої подряпини зростала. Масштабне руйнування поверхні шляхом поширення латеральних тріщин і утворення відколів починається при застосуванні навантаження близько 33,6 Н для скла у вихідному стані та 60 Н для загартованого скла (рис. 1, *в*). Ці дані характеризують вплив привнесених напружень загартування у поверхневому шарі скла на його здатність чинити опір руйнуванню при локальному навантаженні.



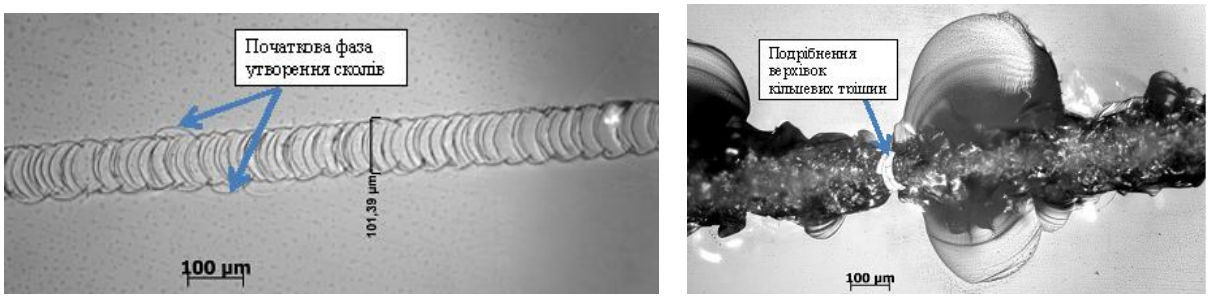
а *б* *в*

Рисунок 1 – Пристосування для сканування поверхонь (*а*), мікрофотографії пошкоджуваності поверхні скла загартованого P_N = 20,4 Н (*б*), P_N = 63,7 Н (*в*)

Додатково досліджували зразки загартованого скла товщиною 6мм, які представляли собою уламки з кутових частин масивного скляного листа, який був випробуваний за схемою вісесиметричного згину. Для цього скла ознаки появи латеральних тріщин спостерігались при навантаженні на індентор P_N = 20,4 Н, а масштабному руйнуванню поверхні відповідало P_N = 40–50 Н, що приблизно на 30% менше, ніж для скла загартованого з масивного листа.

Досліджено також пошкоджуваність поверхні пластини скла товщиною 5 мм, модифікованого іонним обміном при дряпанні індентором Роквела з різним навантаженням на індентор. Аналіз отриманих результатів показує, що при навантаженнях, менших 33 Н на поверхні скла утворюється пружно-пластична подряпина у вигляді послідовності кільцевих поверхневих тріщин Герца без появи латеральних тріщин та відколів.

Відстань між кільцевими мікротріщинами зменшується із збільшенням навантаження на індентор. Початкова фаза утворення сколів спостерігається при P_N = 33,6 Н (рис. 2, *а*). При навантаженні 40,9 Н пружно-пластична подряпина у вигляді послідовних кільцевих поверхневих тріщин Герца майже по всій довжині перетворюється на зону руйнування, залишки незруйнованих поверхонь верхівок цих мікротріщин характеризуються зменшенням подрібнених фрагментів (рис. 2, *б*). Внаслідок втрати стійкості процесу руйнування верхівки тріщин повністю руйнуються, глибина пошкодження та розміри латеральних сколів зростають.



а *б*

Рисунок 2 – Мікрофотографії пошкоджуваності поверхні скла, модифікованого іонним обміном P_N = 33,6 Н (*а*), P_N = 49,6 Н (*б*)

При досліджених режимах зміцнення за технологією іонного обміну ефект підвищення роботоздатності скла при інтенсивному локальному навантаженні індентором Роквела є значно меншим у порівнянні з загартованим склом. Причиною цього є менша глибина модифікованого шару скла при іонному обміні (25–100 мкм) порівняно з загартованим склом (біля чверті товщини скла). За рахунок цього процес стійкого зростання глибини кільцевих мікротріщин Герца при скануванні загартованого скла зберігається до значно більшого рівня навантаження. Але внаслідок суттєвого підвищення рівня накопиченої енергії при критичному рівні навантаження розміри пошкодження загартованого скла при втраті стійкого характеру роста тріщин Герца значно перевищують розміри по-

шкоджень вихідного скла і скла, модифікованого іонним обміном. Встановлено, що розміри кільцевих тріщин Герца для вихідного скла та зміцненого за технологіями загартування і іонного обміну на стадії стійкого росту без утворення значних латеральних тріщин є співставимими. Діаметр тріщин лінійно зростає із збільшенням навантаження на індентор. При підвищенні навантаження процес стійкого росту тріщин закінчується утворенням значних латеральних сколів та збільшенням глибини подряпини. При подальшому зростанні навантаження такий тип руйнування займає всю площу пошкодження.

Для характеристики впливу різних методів модифікації поверхні скла на його пошкоджуваність та опір руйнуванню при локальному контактному навантаженні прийнято точку зламу на діаграмах руйнування в координатах навантаження – ширина подряпини $P_N - w_s$ (рис. 3). Відповідні граничні значення критичної сили та ширини подряпин використано як критерій для оцінки ефекту поверхневого зміцнення.

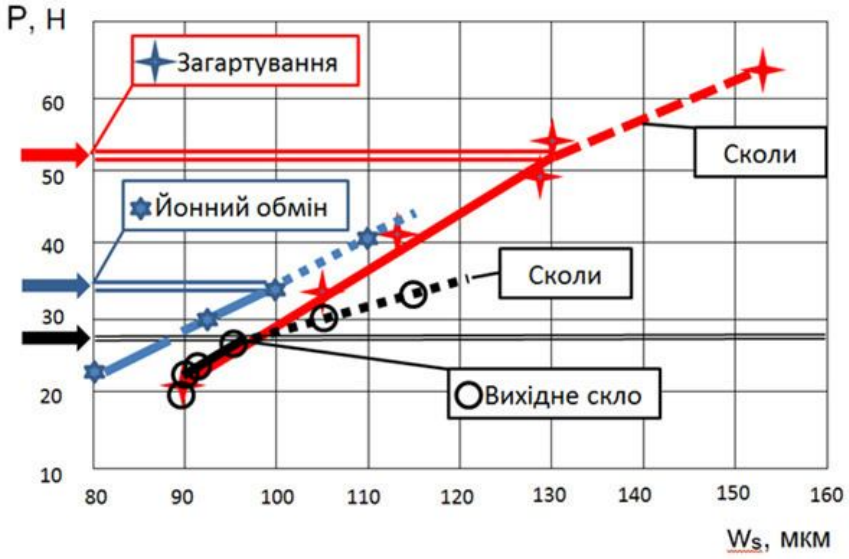


Рисунок 3 – Діаграма руйнування поверхні скла при скануванні індентором Роквела

На діаграмі ділянки стійкого розвитку мікротріщин Герца зображено суцільними лініями. Ділянки, показані пунктирними лініями відповідають стадії нестійкого руйнування з утворенням сколів та збільшенням глибини пошкодження.

Отримані результати можуть бути враховані при оптимізації режимів модифікації скла залежно від призначення та умов застосування конструкційних елементів скління.

Тимофеєв С. С., Огульчанська Н. Р. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Украина

ВПЛИВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ РЕЙОК НА УТВОРЕННЯ ХВИЛЕПОДІБНОГО ЗНОСУ

Донедавна підвищення контактної міцності здійснювалося за рахунок поліпшення якості макроструктури рейки. Рейки типу Р50, UIC 60 і Р65 містять близько 0,69–0,82% вуглецю. Подальше підвищення контактної міцності металу рейок за рахунок збільшення вуглецю небажано, оскільки з його підвищенням збільшується чутливість сталі до різних механічних і термічних дій, підвищується схильність рейок до утворення тріщин. Подальше підвищення міцності рейок може бути здійснене завдяки застосуванню легування і термічної обробки поверхні уздовж голівки. Як показали результати досліджень нових рейок, поодинокий вихід з ладу відбувається за такими дефектами: розшарування голівки по усадковим раковинам, наявність сегрегації неметалевих включень, волосовини на підошві та ін.

А на рейках, що були в експлуатації, у зв'язку зі збільшенням контактної напруги на поверхні катання голівки рейки, з'являлися поперечні втомні тріщини, зім’яття голівки з напливами металу.

Ці дефекти здебільшого трапляються в рейках укладених в кривих ділянках колії, тобто у тих рейках, які сприймають поперечні і поздовжні контактні навантаження від рухомого складу. Унаслідок термо-механо-хімічного впливу в зоні контакту рейка-колесо відбувається пластичний плин поверхневого шару металу головки рейки, який спричиняє на бічній внутрішній викружці виникнення напливів деформованого металу і поздовжніх тріщин під ними [1,2]. Тому постало питання, чому і з якої причини з’являються виділені дефекти. Тобто згідно статистичних даних в опублікованих наукових дослідженнях з питань виготовлення рейок відомо, що в процесі кристалізації злитків у виливницях, внаслідок високої температури здійснюється міграція атомів вуглецю на поверхню відливання і зневуглецювання поверхні. Чим товще переріз відливання і товщина стінок виливниць, тим довше зберігається висока температура, внаслідок чого на велику глибину відбувається зневуглецювання поверхні злитка. Зневуглецьовані злитки після твердіння, перед плющенням, спрямовуються в нагрівальні колодязі, де за зви-

чайних умов нагріву може мати місце додаткове зневуглецювання і окислення [3].

Металографічні дослідження цих рейок показали в місцях дефекту наявність зневуглецьованого шару, який на поверхні катання сильно деформований і зношений, а на бічних гранях досягає глибини до 0,5 мм.

Встановлена залежність розподілу зневуглецьованого шару по довжині голівки рейки і можливий зв'язок між вже утвореними напливами і зневуглецьованим шаром. Для цього був узятий 2-х метровий шматок рейки, на якому з боку внутрішньої викружки були ділянки з напливом металу, вищербинами і ділянки, не уражені цими дефектами. Результати дослідження показують, що по всьому периметру голівки рейки спостерігається зневуглецьований шар, глибина якого неоднакова. Встановлено, що глибина цього слою і по довжині рейки розподіляється нерівномірно. Якщо тепер порівняти наявність напливів на бічній викружці голівки рейки з глибиною зневуглецьованого шару, можна помітити, що в тих випадках, коли глибина шару максимальна, на дослідженій рейці є напливи деформованого металу і поздовжні тріщини під ними. В окремих місцях напливи металу відкололися і на поверхні бічної викружки рейки утворилися вищербини.

Рисунок 1 – Зневуглецьований шар на поверхні катання рейки

Так як визначення глибини зневуглецьованого шару на поверхні катання рейок, що були в експлуатації, із-за зносу і зім'яття ускладнене, нами був досліджений 2-метровий шматок рейки, що не був в експлуатації. У цій рейці характер розподілу зневуглецьованого шару такий же, як і в попередньому шматку. Відзначається, що міра зневуглецювання більше на поверхні катання і бічних викружках рейки, де шар досягає глибини від 0,2 до 0,72 мм, рис. 1.

Таким чином, проведені дослідження дефектів рейок, що були в експлуатації, з утворенням зневуглецьованого шару потрібно враховувати при усуненні хвилеподібного зносу.

Література

1. Даниленко Э.И. Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил / Э.И. Даниленко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. Транспорту. – Дніпропетровськ, 2016. – № 5. – С. 79–88.

2. Даренский О.М. Теоретичні основи визначення параметрів непружних опорів колії / О.М. Даренський // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДУЗТ, 2010. – № 118. – С. 187–194.

3. Митрофанов Б.П. Природа упругого предварительного смешения: Теория трения и износ / Б.П. Митрофанов. – М, 2008. – С. 8–11.

Тимофеєва Л.А., Тимофєєв С.С., Воскобойников Д.Г.
Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ВАНТАЖНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Для вантажного рухомого складу відповідальними деталями є чавунні фрикційні клини візка вантажного вагона, так як при проведенні планових та непланових ремонтах чавунні клини з сумарним зносом похилій і вертикальної площин більше 3 мм підлягають вибракуванню або заміні, що підвищує простий в очікуванні ремонту через несвоєчасну поставки запасних частин.

В процесі експлуатації та ремонту виявляються дефекти, розташовані на поверхнях різного експлуатаційного призначення. Труднощі зварювальних робіт зростають при змінах структури чавуну, викликаних тривалим впливом високих температур, а також проникненням в нього масел і продуктів згоряння пального. Чавунні деталі мають високу міцність на стиск, відрізняється надійною роботою в умовах впливу знакозмінних навантажень, здатні гасити вібраційні викривлення.

Існує багато способів відновлення чавунних деталей, які включають в себе нанесення шару покриття, яке виконується чавунним електродом. Однак в даному способі відсутні підготовчі операції з видаленням дефектів і слідів зносу, в результаті чого наплавлений шар металу в процесі експлуатації буде відшаровуватися. Віднов-

лення чавунних деталей може здійснюватися методом електрохімічною обробкою з подачею електроліту через трубчатий електрод - інструмент проходить індукційне наплавлення шліфування наплавленої поверхні і оксидування в азотній атмосфері.

Основним недоліком даного способу є висока технологічність і неможливість забезпечити заданої адгезії основного і наплавочного металу. Це не дає можливості якісного відновлення геометричних розмірів зношених деталей. Тому, відновлення чавунних деталей є актуальною особливо це характерно для деталей рухомого складу залізничного транспорту.

Основна ідея полягає в розробці способу відновлення чавунних фрикційних клинів візка вантажного вагона, який забезпечить їх працездатність і зносостійкість за рахунок покриття, що захищає основний метал від втрати вуглецю з подальшим наплавленням при відновленні геометричних розмірів деталей за рахунок утворення перехідного шару.

Основним вузлом вантажного вагона, призначеним для зниження коливань кузова вагона і рівня динамічних сил в вертикальній і горизонтальній площинах, є ресорне підвішування з клиновими фрикційними гасителями коливань.Низька експлуатаційна стійкість фрикційних клинів, фрикційних планок і пружин ресорного підвішування обумовлена перш за все низьким рівнем їх фізико-механічних властивостей і якості виготовлення. На даний момент не існує узаконеної яким - або нормативним документом технології відновлення чавунних клинів візків.

Тому при проведенні планових та непланових ремонтів вантажних вагонів чавунні клини з сумарним зносом похилій і вертикальної площин клинів більше 3 мм, за умови, що цей знос буде не більше 2 мм. з однієї зі сторін - підлягають вибракуванню і заміні, а це, як правило, 100% вибракування чавунних клинів при планових видах ремонту.

Проблема дефіциту чавунних фрикційних клинів при проведенні планових ремонтів вагонів на сьогоднішній день вирішується в основному за рахунок порушення технології їх ремонту (приварка пластин металу до зношених робочих поверхонь клина або звичайна дугова наплавка зношених поверхонь, найчастіше з примітивною обробкою наплавленого шару.

При цьому і те і інше (приварена пластина або шар наплавленого металу незабаром відпадає в процесі експлуатації вагона), чим створює загрозу безпеці руху і викликає підвищений знос суміжних з

клином поверхонь тертя, а одна з них це похила поверхня надресорної балки, яку при наступному плановому ремонті однозначно доведеться відновлювати витрачаючи на це додаткові фінансові кошти, хоча цього можна було-б уникнути при відсутності зносу більш.

Новий спосіб відновлення чавунних деталей, який полягає у формуванні захисного шару, який забезпечує міцність зчеплення покриття основи за рахунок перехідного шару між металом – покриття і наплавленим шаром.

Матеріал поверхневого шару є своєрідним каталізатором, що викликає або пришвидшує процеси обміну між компонентами покриття і навколишнього середовища.

Відновлення зношених поверхонь чавунних клинів, виготовлених із сірого чавуну марки СЧ-35 запропонованим новим способом дають можливість не тільки колосальної економії фінансових коштів, що витрачаються на придбання нових клинів, натомість вибракувати, але і дозволить значно підвищити ритмічність ремонту вагонів за рахунок зниження їх простою в очікуванні ремонту через несвоєчасну поставки запасних частин.

Тимофеєва Л.А., Федченко І.І. Український
державний університет залізничного транспорту,
Харків, Україна

МОДИФІКУВАННЯ ЕЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

У теперішній час існує велика кількість технологічних процесів для модифікування поверхонь залізовуглецевих сплавів. Найбільш розповсюдженими методами є термічна (ТО) і хіміко-термічна обробка (ХТО). Використовують різні види термічної обробки: відпал, гартування, відпуск і старіння. Сукупність операцій ХТО з насиченням поверхні виробу такими різними елементами, як, наприклад, вуглець, азот, алюміній, кремній, хром та ін. підвищує твердість, зносостійкість, корозійну стійкість. ХТО, створюючи на поверхні виробів сприятливі залишкові напруги стиску, підвищує надійність та довговічність.

Незважаючи на те, що термічна обробка та хіміко-термічна обробка підвищують експлуатаційні властивості деталей, вузлів ма-

шин і механізмів, вони мають недоліки, до яких слід віднести витривалість часу за рахунок інерції термічного обладнання.

Існують сучасні інтенсивні методи нагрівання, наприклад з використанням струмів високої частоти (СВЧ). Недоліком цього методу обробки великогабаритних деталей і деталей різної конфігурації є необхідність виготовлення індуктора під певну конфігурацію деталі, призводить до підвищення вартості технологічного процесу термічної обробки.

На сучасному етапі виробництва для кожного виду ТО та ХТО використовується спеціалізоване або універсальне термічне обладнання.

Наприклад, для ХТО металевих виробів для одержання необхідної температури до 1100 °С призначені електропечі опору шахтні серії СШО в окислювальний або СШЗ в захисній атмосфері, у яких нагрівальна камера і габаритна форма являють собою паралелепіпед. Недоліком є великий обсяг футерування, нерівномірне нагрівання деталей. Електропечі опору шахтні муфельного типу СШЦМ призначені для цементації, нітроцементації і термообробки різни х видів виробів в атмосфері ендогазу з додаванням вуглеводневого газу й аміаку при нітроцементації. У цьому обладнанні нагрівальна камера являє собою циліндр, що є найбільш вдалою формою для термічного обладнання в порівнянні з паралелепіпедною, тому що потребує меншого обсягу футерування через свою конфігурацію, а отже, є менш інертною і менш енергоємною у використанні, потребує менше часу для виготовлення деталей.

Нагрівальна камера трапецеїдальної форми рідко застосовується на виробництві через низький коефіцієнт використання робочої зони. У цьому обладнанні відсутні закономірності в проектуванні елементів за їх пропорціями.

У таких конфігураціях нагрівальної камери основним недоліком є нерівномірне нагрівання та охолодження садки, і як результат неефективне використання робочої зони.

Таким чином, аналіз патентів і технічної літератури виявив, що з усього термічного обладнання, що застосовується для ТО та ХТО, термічне обладнання з конфігурацією у вигляді циліндра або паралелепіпеда має безліч недоліків. Також відсутнє системне пропорціювання елементів конструкції термічного обладнання.

Реалізація модифікування електропечей здійснювалась на основі нового підходу до їх проектування., а саме із застосуванням

методів системного пропорціонування,тобто дотримуючись особливих відношень та зв'язків сторін та висоти й інших елементів, дозволяє найбільш ефективно використовувати обладнання.

Піч, розроблена за новою конфігурацією нагрівальної камери для універсальної роботи, характеризується компактною конструкцією, легкістю в обслуговуванні, мінімальною витратою електроенергії, високою продуктивністю, а також низькими витратами, пов'язаними з обслуговуванням обладнання.

Печі обладнанні нагрівальною камерою пірамідального перерізу, який забезпечує вільний доступ до робочого простору печі і дозволяє завантажувати негабаритну садку [1].

Таким чином, модифікована електропіч з принципово новою найбільш ефективною конфігурацією термічного обладнання і нагрівальної камери для термічної і хіміко-термічної обробки забезпечує оптимальний розподіл температури та швидке нагрівання й охолодження садки.

Література

1. Патент України №106132. Піч для термічної та хіміко-термічної обробки деталей // Бюл. «Пром. власність». – 2014. – № 14.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк,
Борисов Ю.С. Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Универсальность и высокая гибкость методов газотермического напыления покрытий (ГТНП) достигается благодаря широкому ряду технологий и оборудования, доступных на рынке, а также проведению непрерывных разработок и исследований, возможности напыления большого разнообразия материалов, в т. ч. композиционных, а также большому разнообразию известных и перспективных областей применения.

Проектирование газотермических покрытий (ГТП) и разработка операционных технологических процессов напыления непосредст-

венно связаны с анализом физико-химических явлений, сопутствующих образованию покрытий, и механизмов, ответственных за формирование их свойств. Процесс образования ГТП заключается в формировании напылительной струи путем тонкого распыления исходного материала (в случае его компактного состояния) на мелкие частицы, нагрева твердых исходных частиц до расплавленного или пластичного состояния и перемещения их до соударения с поверхностью изделия. Нагретые и ускоренные в струе частицы соударяются с поверхностью напыляемого изделия (основы), расплющиваются и образуют тонкие частицы (сплэты), схватывающиеся с поверхностью основы. Сплэты в итоге охлаждаются и последовательным наращиванием друг на друга образуют покрытие со слоистой структурой. Формирование структуры, механических, теплофизических и иных свойств покрытий, прочность сцепления их с основой определяются закономерностями превращений в материалах на следующих этапах: 1. технология изготовления и подготовки к напылению исходных материалов (структура и свойства исходного материала покрытия); 2. превращения в исходном материале при распылении, нагреве и ускорении в напылительной струе (состояние, структура и свойства материала частиц перед соударением с основой); 3. превращения в материале частицы при соударении с основой и формировании сплэтов; 4. формирование ГТП путем образования сплэтов и их последовательного наслаивания (структура и свойства напыленных покрытий); 5. Хранение и обработка напыленных покрытий (окончательная структура и свойства ГТП).

ГТП, как правило, имеют негомогенную структуру, так как применяемые исходные материалы (обычно порошок), с распределением частиц по размерам, могут иметь различные фазы с различным химическим составом. Распыляемый исходный материал (проволока) также образует частицы с отличающимися размерами. Это ведет к различию скорости и температуры частиц при соударении с поверхностью основы и, следовательно, к их различному физическому состоянию (расплавленному, полурасплавленному или твердому). Окончательная структура покрытия может содержать поры вследствие плохого анкерного сцепления частиц различного размера, или насыщения газами, образования сплэтов различного размера, сплэтов с различной фазовой микроструктурой, образованием при ГТНП новых фаз (например, оксидов) и трещины, образующиеся вследствие аккумуляции напряжений. К тому же слоистая

структура ГТП приводит к анизотропии свойств в продольном и поперечном направлениях.

Газотермическому напылению подвергаются практически любые материалы, которые не разлагаются при высоких температурах (вблизи температуры плавления). Фактически все виды материалов, полимеры, металлы и керамика (и их комбинации) могут напыляться при правильном выборе техники газотермического напыления и операционных параметров ГТНП. До настоящего времени имеются ограничения по напылению керамик, не имеющих постоянной температуры плавления (например, карбид и нитрид кремния), вследствие их возможности сублимировать или разлагаться в процессе напыления на воздухе. Эти ограничения недавно были обойдены разработкой новой технологии для защиты керамических порошков при ГТНП. Эта технология позволяет ГТН керамик, не имеющих постоянной температуры плавления, путем защиты каждой индивидуальной керамической частицы нанослоем материала, выполняющего роль теплового барьера.

Для подготовки поверхностей деталей под газотермические покрытия применяют различные способы, но наиболее часто струйно-абразивную обработку. При этом получают поверхности с различными параметрами микрорельефа. Их влияние на прочность сцепления газотермических покрытий с основой обычно связывают с механическим сцеплением и более высокой степенью развитости поверхности основы. Иногда шероховатость поверхности учитывается при моделировании процесса образования физического контакта и теплового режима в системе частица - основа. Однако при этом учитывается только смятие единичных выступов поверхности. Имеющиеся рекомендации по назначению параметров шероховатости основы под газотермические покрытия являются эмпирическими и относятся к строго ограниченным условиям эксперимента. Критерием оптимальности технологии подготовки поверхности основы является прочность сцепления получаемых покрытий.

Выбор оптимальных параметров микрорельефа поверхности следует проводить на основе анализа процессов термодинамического взаимодействия напыляемых частиц с шероховатой поверхностью. Возможны различные схемы соударения напыляемых частиц с шероховатой поверхностью. Сопоставление возможных размеров напыляемых частиц и параметров шероховатости поверхностей, обработанных резанием, показывает, что возможны случаи соударения частиц с поверхностью, которую можно моделировать плоскостью, а

также выступами или впадинами. Микрогеометрия поверхности основы зависит от способов обработки. После точения след от резца непрерывный, например, в виде резьбовой нарезки. При малых подачах, когда угол подъема витка незначительный – радиус впадины соответствует радиусу закругления вершины резца. После струйно-абразивной и дробеструйной обработок следы от воздействия дроби (абразивных частиц) расположены хаотично. При дробеструйной обработке дно лунок гладкое с радиусом и шероховатостью, соответствующими поверхности частиц дроби (шариков).

При больших значениях радиуса выступов и впадин микропрофиля поверхности характер соударения близок к случаю удара частицы с плоскостью. По мере увеличения высоты шероховатостей, уменьшения их радиусов характер соударения меняется. При достаточно большом радиусе выступов возможен отрыв растекающегося слоя частицы от основы. В случае достаточно большого радиуса впадины возможно плавное растекание частицы с сохранением ее плотного контакта с основой. В случае малых размеров неровностей заполнение впадин в виде канавок (рисок) возможно в зоне действия напорного давления. В зависимости от сочетания размеров микропрофиля поверхности и частиц, возможно обтекание выступов растекающимися частицами, частичное заполнение впадин растекающимися частицами. Возможно и выплескивание растекающегося слоя частиц из впадин. Если микрорельеф поверхности имеет канавки и риски, то существенно различен характер растекания частиц, в продольном и поперечном направлениях. В продольном направлении имитируется растекание по плоскости, в поперечном - во впадине.

Известно, что основное и значимое влияние на прочность сцепления оказывают следующие параметры шероховатости: *Rp* – высота сглаживания (расстояние от линии выступов до средней линии); R_{max} наибольшая высота неровностей профиля; *Ra* – среднеарифметическое отклонение профиля; *Sm* – средний шаг неровностей. Однако нет каких-либо экспериментальных зависимостей прочности сцепления от значений параметров *Rp*, *Sm*. Наличие оптимальной шероховатости для достижения высокой прочности сцепления обычно объясняют оптимальностью объема впадин микрорельефа, обеспечивающего необходимую усадку напыленного слоя при охлаждении. Влияние высоты сглаживания *Rp* можно объяснить также тем, что этот параметр характеризует соотношение объемов выступов и впадин в шероховатом слое напыляемой поверхности и является более приемлемым для оценки условий взаимодействия частиц с основой.

Однако, деформирование и растекание напыляемых частиц на шероховатой поверхности зависит от топографии поверхности и прежде всего от шага неровностей. Впадина между смежными выступами должна быть достаточно широкой, чтобы позволить частице деформироваться до максимально возможного диаметра диска. В противном случае, она должна затекать в смежную впадину. Если диаметр деформированной частицы существенно меньше шага неровностей, при соударении о боковые поверхности выступов малые частицы будут растекаться в направлении дна впадины и разбрызгиваться. Для уменьшения разбрызгивания диаметр деформированной частицы (диска) D должен быть в пределах $0{,}25s < D < s$, где s – шаг неровностей.

Экспериментальные данные о влиянии размера Da абразивных частиц на прочность сцепления ГТП, определяемую способом отрыва, показывают явную зависимость последней от размера абразивных частиц, используемых для САО поверхности основы. Следует, однако, учитывать, что микрорельеф поверхности основы не является единственным фактором, определяющим абсолютное значение прочности сцепления.

Полагая, что радиус лунки соответствует диаметру абразивной частицы, можно определить оптимальный диаметр абразивных частиц

$$D_\alpha = d_p / \sqrt{6\bar{h}\bar{H}_л} .$$

По мере увеличения относительной глубины лунок оптимальный диаметр абразивных частиц уменьшается. При заданном размере частиц D_α, причем $D_\alpha > d_р$, можно определить оптимальную глубину лунок

$$H^*_л = d^2_p / 6\bar{h}D^2_\alpha .$$

Здесь $\bar{h} = h/d_p$ – относительная глубина лунок; h – толщина сплэтов; d_p – диаметр напыляемых частиц в начальный момент соударения; $\bar{H} = H_Л / D^*_Л$ – относительная глубина лунок; $H_л$ – глубина лунок; $D^*_Л = d^2_c / 4H_Л$ – диаметр лунки, оптимальный для образования прочного сцепления сплэта с основой; d_c – диаметр сплэта.

Харламов Ю.А., Романченко А.В., Мицык А.В.
Восточноукраинский национальный университет
им. В. Даля, Северодонецк, Украина

ВЫБОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Режущий инструмент в значительной мере определяет работоспособность технологических систем машиностроения. В первую очередь это касается операций обработки с повышенными теплосиловыми нагрузками на инструмент (высокоскоростное резание, обработка закаленных, коррозионностойких, жаропрочных сталей и сплавов, композиционных материалов, наплавленных и напыленных покрытий и пр.

Надежность режущего инструмента (РИ) может быть обеспечена комплексным подходом, учитывающим все возможные конструктивно-технологические методы повышения его эксплуатационных свойств. Последние определяются не только физико-механическими характеристиками инструментального материала и поверхностных слоев рабочих площадок инструмента, но и геометрией и шероховатостью этих поверхностей, конструктивными особенностями инструмента, технологией его изготовления, применением смазочно-охлаждающих технологических сред, схемой резания и другими условиями резания.

В современных условиях производства необходимо ускорить и удешевить разработку и внедрение режущих инструментов с повышенными эксплуатационными свойствами. Этому может способствовать разработка экспертных систем, позволяющих автоматизировать этот процесс, сузить круг поиска технических решений. Для этого необходимо создание баз данных и обучающих программ и средств по основным направлениям обеспечения надежности РИ, к которым относятся:

Совершенствование конструкций режущего инструмента. Высокая производительность и точность обработки резанием обеспечиваются комплексом требований при конструировании режущего инструмента, связанных с выбором: материала и геометрии режущей части; прочности и виброустойчивости державки и режущих кромок; формы и размеров пластинки инструментального материала; способа и конструкции крепления пластинки инструментального материала (для пластин с механическим креплением);

способа стружколомания; размеров, шероховатости, геометрии и конструкции гнезда для крепления пластины инструментального материала и др. К актуальным направлениям относятся следующие.

Разработка инструментов для новых способов обработки резанием («твердая обработка» металлов твердостью ≥ 47HRC, которая применяется с целью замены шлифования лезвийной обработкой, комбинированные методы обработки, например, методов резания и холодного пластического деформирования микронеровностей).

Повышение точности изготовления инструментов.

Разработка инновационные конструкций режущих инструментов из сверхтвердых материалов (СТМ).

Совершенствование и разработка новых инструментальных материалов, в т.ч. разработка инструментов и инструментальных материалов для обработки новых конструкционных материалов (никелевые и титановые сплавы, композиты на основе алюминиевых и титановых сплавов, упрочненные полимерными материалами, а также интерметаллоидам типа Ti-A1, Ni-A1 и др.). Например, разработка новых марок твердых сплавов с мелкозернистой и супермелко-зернистой структурой с покрытием специально для обработки чугуна с вермикулярным графитом (ЧВГ). Основными направлениями являются:

1. Разработка и внедрение быстрорежущих сталей оптимального состава, к которым относят те, которые обладают лучшим сочетанием эксплуатационных и технологических свойств при меньшем содержании в них дорогостоящих легирующих компонентов.

2. Применение технологий обработки, повышающих эксплуатационные свойства сталей: Оптимизация температур нагрева при закалке сталей; Вакуумная термообработка быстрорежущих сталей;

Изотермическая штамповка быстрорежущих сталей в условиях сверхпластичности; Применение метода экструдирования. Мелкий режущий инструмент, изготовленный из стали 10Р6М5-МП (сверла диаметром 1–10 мм, концевые фрезы диаметром 4–10 мм и др.) имеет стойкость, превышающую стойкость аналогичных инструментов из стандартных сталей Р6М5 и Р18 (сверла в 2–9,6 раза, фрезы в 1,3–4 раза); Внедрение современных технологий производства и разливки быстрорежущих сталей, обеспечивающих повышение их механических свойств; Разработка и применение быстрорежущих сталей для литых инструментов; Применение сварных инструментов с рабочей

частью из быстрорежущих сталей; Разработка порошковых проволок из быстрорежущих сталей для наплавки инструмента; Разработка и применение низкотемпературного прецизионного способа шлифования инструментальных материалов.

3. Совершенствование твердых сплавов (ТС):

- разработка ультрамелкозернистых (с зерном 0,3–0,5 мкм) и экстрамелкозернистых (с зерном 0,5–0,9 мкм) ТС, имеющих более сбалансированное сочетание твердости и вязкости по сравнению с ТС нормальной (1,4–2,0 мкм) и крупной (3,5–5,0 мкм) зернистости;
- создание ТС со связкой повышенной жаропрочности (например, легирование кобальтовой связки Re и Ru) и с более высокой сопротивляемостью вязкому разрушению при повышенных температурах по сравнению со стандартными ТС;
- разработка экономнолегированных безвольфрамовых ТС с никель-молибденовыми связками, не содержащих дорогостоящих и дефицитных элементов (W, Co, Ta);
- разработка универсальных марок ТС с износостойкими покрытиями, в значительной степени отвечающих требованиям к ИМ с «идеальными свойствами»;
- разработка слоистых (композиционных) ТС, экономно сочетающих дорогостоящий и высокоизносостойкий относительно тонкий поверхностный слой с более дешевым массивным субстратом.

Твердые сплавы нового поколения предназначены для решения совокупности современных технологических задач: сухое высокоскоростное резание; обработка материалов повышенной твердости; резание труднообрабатываемых материалов; изготовление цельнотвердосплавных инструментов со сложнопрофильной формой режущей части (сверла, концевые фрезы, метчики и т.д.).

Использование сменных многогранных пластин (СМП) из ультра-мелкозернистых и экстрамелкозернистых ТС (особенно СМП с улучшенной геометрией) способствует существенному повышению эффективности чистовой обработки. РИ, оснащенный такими СМП, позволяет эффективно решать задачи, связанные: с улучшением стружкодробления; со снижением термической напряженности инструмента и уменьшением интенсивности диффузионного изнашивания РИ при высокоскоростной обработке; с уменьшением склонности к наростообразованию; с увеличением точности и качества резания труднообрабатываемых материалов.

4. Разработка и применение безвольфрамовых твердых сплавов на железной и стальной связках, не уступающие по режущим свойствам традиционным сплавам.

5. Совершенствование режущей керамики.

6. Применение составного композиционного режущего инструмента, например, двухслойных композиционных поликристаллических материалов (алмазоносный слой на твердосплавной подложке) и составных сменных многогранных пластин, состоящих из различных форм вставок из инструментального материала и основы пластины из более дешевого материала.

7. Создание инструментальных материалов с повышенными физико-механическими и режущими свойствами на основе композиционно-слоистых системы из трех основных элементов с градиентом свойств в объеме геометрического тела инструмента (высокопрочная композиционная керамика с покрытием).

8. Разработка и применение композиционных материалов на основе кубического нитрида бора.

9. Разработка и внедрение наноструктрированных материалов, покрытий и модифицированных слоев РИ.

Разработка новых, совершенствование известных и внедрение методов инженерии поверхности инструментальных материалов. Основными направлениями являются:

1. Повышение режущих свойств инструментальных материалов поверхностным модифицированием, в т. ч. лазерная модификация, ионная имплантация (ИИ), тренировка инструмента и др.;

2. Разработка защитных и функциональных покрытий и методов их нанесения на режущий инструмент;

3. Разработка инструментальных материалов с покрытиями;

4. Изучение трибологии резания, в т. ч. инструментом с покрытиями и модифицированными слоями.

Повышение жесткости и виброустойчивости технологической системы резания, в т. ч. применением сборных твердосплавных пластин с демпфирующими свойствами.

Обеспечение и поддержание оптимального состояния режущих кромок на эксплуатационные свойства инструментов. Оптимальные радиусы округления кромок позволяют получать увеличение стойкости резцов в 1,5–3,0 раза.

Рациональное применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Наряду с совершенствованием СОТС экологические и экономические проблемы обусловливают развитие

таких способов, как «сухая обработка» резанием, т.е. без применения СОТС. В тех случаях, когда полный отказ от них невозможен, например, при сверлении, рекомендуется обработка с применением минимального количества СОЖ, так называемая – MMS-технология, которая заключается в охлаждении зоны резания небольшим количеством СОЖ, подаваемой под давлением до 0,6 МПа с помощью потока воздуха. Расход СОЖ, превращаемой в этом случае в аэрозоль, обычно не превышает 80 мл/ч. При этом исключаются затраты на подготовку и утилизацию СОЖ, очистку стружки и т.д. Другим способом минимизации подаваемой в зону обработки СОТС является ее микродозирование и доставка в зону обработки в специальных микрокапсулах размером 5–20 мкм, внутри которых располагается капелька (дозы) СОТС. Заслуживает внимания разработка способов и приемов использования при резании твердых смазочных материалов.

Выбор и оптимизация геометрии, конструкции инструмента и условий резания в зависимости от вида, условий и требований обработки. Целесообразно создание базы данных для проектирования РИ, разработки высоких и критических технологий. Такая база должна включать ряд блоков:

Анализ технического уровня РИ на основе обобщения справочной литературы, технологических процессов, конструкторской и прочей документации. На основе этой информации разрабатывается техническое задание, перечень «узких мест» и предложений по их устранению.

- Систематизация патентной и научно-технической информации по конструкциям и технологиям изготовления РИ.
- Выбор высоких и критических технологий для производства РИ.
- Выбор единой технологии РИ.
- Разработка конструкторской и технологической документации для РИ.
- Данные блоки могут содержать отдельные подблоки по видам РИ, технологиям их изготовления и обеспечения надежности, в т.ч.: резцов; осевого инструмента для обработки отверстий; фрез; протяжек и др.
- Создание электронных баз данных и экспертных систем будет способствовать выбору обоснованных технических решений, обеспечивающих повышение надежности и улучшение эксплуатационных свойств режущего инструмента.

Шабайкович В.А. Луцкий национальный
технический университет, Луцк, Украина

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Качество и конкурентоспособность изделий может быть существенно повышены за счет применения нанотехнологий, которые являются перспективными технологиями будущего. Свойства наноструктур обусловлены средой наномира. Однослойные или многослойные графитные цилиндры нанометрической толщины, так называемые нанотрубки, позволяют создавать композитные сверхпрочные материалы, принципиально новые полупроводниковые и оптоэлектронные устройства и много чего оригинального, хотя они состоят из таких же атомов и молекул. Нанотехнологии уже теперь широко используются при изготовлении особых сортов стекла, которые являются чрезвычайно прочными и на которые не оседает грязь, незагрязняющиеся одежды, немнущиеся и имеющие другие лучшие показатели качества [1].

Для внедрения нанотехнологий в промышленности необходимо разработать дешевые способы получения различных наноматериалов в достаточном для производства количестве. Исходным сырьем для получения наноматериалов являются в первую очередь металлы и их оксиды, монтмориллонит, природные и синтетические полимеры, а также продукты переработки ценных отходов производства. Основным способом получения наноматериалов является фуллереновая дуга (синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами), газофазный метод (получение фуллерена С60СНТ при температуре 4000 °С), каталитическое разложение углеводородов (продувка смеси газообразного углеводорода и буферного газа по кварцевой трубке с металлическим порошком при температуре 700–1000 °С), порошковая технология (газофазное осаждение и комплектование, спекание, горячая обработка давлением), интенсивная пластическая деформация (равноканальное угловое прессование, деформация кручением, обработка давлением многослойных композитов), кристаллизация из аморфного состояния (обычное и высокое давление), пленочная технология (химическое и физическое осаждение покрытий из газовой фазы, электроосаждения, золь-гель технология). В результате использования таких

способов создаются углеродные нанотрубки, наномолекулы, углеродные нити, металлические частицы, покрытые углеродной оболочкой, сплавы, химические соединения, аморфные металлические покрытия, что в общем можно представить кирпичиками, из которых строятся различные изделия с повышенным качеством.

По своим электронным свойствам графен отличается от трехмерного графита. Его можно представить в виде «развернутой» углеродной нанотрубки и охарактеризовать, как полуметалл или как сверхпроводник с нулевой шириной запрещенной зоны. Повышенная мобильность электронов переводит его в разряд самых перспективных материалов для наноэлектроники. В настоящее время графен получают, воздействуя на графит серной и соляной кислотами, или выращивая его на кремневой подложке. Кроме того, графен отличается высокой прочностью. Несколько слоев этого материала толщиной в 0,1 мкм выдерживают до 2 тонн веса.

Необычные оптические свойства графена объясняются его зонной структурой: ширина запрещенной зоны равна нулю, зона проводимости и валентная зона не параболические, как для электронов в большинстве твердотельных материалов, а конические. Графен не совсем прозрачный, что дает возможность видеть его. Способность поглощать свет в оптическом диапазоне не зависит от длины волны, что важно в квантовой электродинамике.

С помощью нанотехнологий реализуется подход проектирования изделий от начала к концу в отличие от традиционного: с конца к началу, т.е. разработки общего вида конструкции изделия, затем его узлов и тогда деталей. При втором подходе сначала создаются детали с соответствующими свойствами, потом целые узлы путем использования нанотехнологии. Очевидно, что второй подход всегда обеспечит более высокое качество, т.к. качество в микромире значительно выше, чем в макромире. Возможен и третий смешанный подход: на этапе проектирования деталей используется нанотехнология, а дальше – традиционная сборка. В природе такие явления давно известны, но только теперь стали использоваться, которые получили название нанотехнологии.

Одной из искусственных структур являются нанотрубки с диаметром порядка 0,8–10 нм, состоящие из отдельных атомов углерода. Такие трубки предназначены для коммуникаций, передачи энергии и сигналов, а также построения новых материалов, отличающихся широким разнообразием физико-химических свойств. Идеальная нанотрубка – это цилиндр, получаемый при свертыва-

нии графеновой плоской пленки. Такой графен представляет собой пленку из атомов углерода, толщина которой состоит из одной молекулы и является перспективной основой наноэлектронных приборов. По прочности нанотрубки значительно превышают сталь, близкие к алмазу, а по массе – легче пластика. С нанотрубок получают нанопену, обладающую магнитными свойствами, которая дополнительно может использоваться для выявления и уничтожения различных опухолей. В последнее время была получена также нанотрава, представляющая достаточно плотный слой нановолокон, перпендикулярно ориентированных к подложке.

Современные достижения практической нанотехнологии представляются тремя группами: инкрементными, эволюционными и радикальными. Инкрементная нанотехнология предполагает промышленное применение наноструктур, специфических эффектов и феноменов с целью существенного усовершенствования качества традиционных материалов. Это создание композиционных конструкционных материалов с различными свойствами, защитных самоочищающихся и износостойких покрытий, препаратов автохимии и т.п. Например, получение корабельных красок против обрастания биомассой днищ судов, добавок к топливу и смазочным материалам, износостойких нанопленок, одежды из наноматериалов на основе нановолокон, нанодиодов, применение при зондовой литографии и много другого интересного. Эволюционная нанотехнология связана с разработкой наномеханизмов. С фуллеренов, нанотрубок, наноконусов и других подобных структур могут быть составлены молекулы в форме различных нанообъектов, таких как зубчатые колеса, штоки, подшипники и другие узлы с сверх высокими качественными характеристиками.

Радикальная нанотехнология связана з созданием специальных конструкций механизмов, которые используются для решения многих технических задач по созданию сверхпрочных конструкций, а также диагностики и лечения различных болезней, борьбы со старением живых организмов, восстановлением их функций. Известен проект создания космодрома, космического лифта, которые уже финансируются NASA. Но все разработки могут быть воплощенными в производство только с развитием молекулярной нанотехнологии создания наноструктур, т.е. технологии снизу-вверх, при которой сложные объекты строятся из простых: отдельных атомов, молекул. Пока что задержка за стабильной возможностью практического изготовления механизмов с теоретически рассчитанных со-

ставных молекул. Для представления возможностей повышения качества изделий нанотехнологиями будущего следует кратко отметить особенности их применения в наноинженерии, автохимии, и других отраслях.

Наноинженерия поверхности деталей машин вполне определяет их высокое качество, достичь которое традиционными способами просто невозможно. В первую очередь это их сверхпрочность и трибологические свойства. Известно, что на преодоление трения в машинах и механизмах, оборудовании тратится около половины топлива. Этим обусловлены их низкие коэффициенты полезного действия порядка 0,6–0,8. Был также открыт эффект неснашиваемости, в основе которого лежит явление самопроизвольного образования тонкой пленки меди в соединениях трения бронза-сталь в спиртоглицериновой среде и консистентной смазки ЦИАТИМ-201. При этом образуется тонкая медная пленка, толщиной 100 нм, которая уменьшает износ и силу трения в десятки раз.

Известная технология финишной антифрикционной обработки, методы ускоренной обкатки (приработки) машин и оборудования, их восстановление без разборки при непрерывной работе и многое другое. Для существенного повышения качества поверхностей конструкционных материалов (прочности, антифрикционности и антикорозионности) наносится специальное наноструктуризованное покрытие толщиной 50–500 нм с помощью нанотехнологий.

Достаточно интересное повышение качества лакокрасочных покрытий на основе нанотехнологии, уже применяемое на автомобилях Mercedes-Benz, которое обеспечивает высокую и долговременную прочность покрытия. Сущность заключается во включении в краску микроскопических керамических частиц, образованных на основе нанотехнологии, которые во время высыхания образуют чрезвычайно плотную сетчатую структуру. При этом в три раза повышается прочность лакокрасочного покрытия при интенсивном блеске.

Известно применение нанотехнологии при создании нового топлива и смазочных веществ, в электротехнике, строительстве, медицине, сельском хозяйстве, военном деле и многих других отраслях и случаях.

Литература

1. Балабанов В.И. Нанотехнологии: наука будущего / В.И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Антонюк В.С., Яценко И.В., Ващенко В.А., Гордиенко В.И., Кириченко О.В.
ОСОБЕННОСТИ ЕЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ 3

Базров Б.М., Корешков В.Н., Чуйко М.Г., Хейфец М.Л., Попок Н.Н.
УНИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В ТИПОВЫХ, ГРУППОВЫХ И МОДУЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ 6

Барабаш М.Ю., Влайков Г.Г., Колесниченко А.А., Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартынчук В.Е.
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭТАЛОНА 10

Барандич Е.С., Выслоух С.П.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ЦИКЛИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ 12

Бородавко В.И., Пынькин А.М., Воробьев В.В., Хейфец М.Л., Семененко Д.В., Грецкий Н.Л., Антончик К.А.
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАСТОМИЗИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ 13

Бояринова В.Г., Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Латипова М.И.
СОРНЫЕ РАСТЕНИЯ 16

Брусило Ю.В., Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Гонець Р.А.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ 20

Бурыкин В.В.
СБОРНЫЕ ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ С РИФЛЕНЫМИ ВСТАВКАМИ ИЗ ПСТМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ 25

Витязь П.А., Сенють В.Т., Хейфец М.Л., Колмаков А.Г., Насакина Е.О.
СТРУКТУРА ТЕРМОБАРИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОГО АЛЮМОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОСТРУКТУРНЫМ НИТРИДОМ БОРА 29

Витязь П.А., Чижик С.А., Хейфец М.Л.
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА 33

Волошко О.В., Выслоух С.П.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ НОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 36

Геворкян Э.С., Кислица М.В. Прокопив Н.М.
НОВЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ МИКРО AL_2O_3 И SiC (нано) ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 37

Глембоцкая Л.Е., Балицкая Н.А., Мельник А.Л., Полонский Л.Г.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ БЕЗВЕРШИННЫХ РЕЖУЩИХ КРОМОК ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ СО СПИРАЛЬНО-СТУПЕНЧАТЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НОЖЕЙ 39

Големы С., Середа Г.В., Рябченко. С. В., Валуйский В.Ю.
СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТОВ УКРАИНЫ И ЧЕХИИ НА АБРАЗИВНЫЕ КРУГИ 42

Гречук А.И, Девин Л.Н.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТВЕРСТИЙ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ВПКМ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ 44

Григорьева Н.С.
МЕРОПРИЯТИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ 47

Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Степанова И.И.
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ АНОДНО-ИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАНОЧНОЙ ПОСАДКИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ 51

Дашкевич В.Г., Ковальчук А.В., Судников М.А.
К ВОПРОСУ ТЕРМОДИФФУЗИННОГО БОРОАЛИТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 55

Девин Л.Н, Рычев С.В., Смерчинский А.В.
ПРИМИНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ГРАНЯХ РЕЗЦА ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА 57

Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Антонюк. А.С., Рычев С.В., Нечипоренко В.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0 61

Добровольская Л., Куць Н., Собчук Д.
ФОРМИРОВАНИЕ КЛАСТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕМОНТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ 64

Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Хошимов А.А.
ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ И НАСОСНЫХ УСТАНОВОК 66

Жук Г.В., В.А. Лебедев
ИМПУЛЬСНЫЕ И ВИБРАЦИОННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ И РАЗВИТИИ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ 70

Ивашко В.С.
РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ 81

Ивашко В.С.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АВТОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ 86

Зяхор И.В.
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНИКИ СТАЛЬ 316L – МЕДНЫЙ СПЛАВ CuCrZr ДЛЯ ПРОЕКТА ITER 89

Калашников И.Е., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г. Михеев Р.С., Хейфец М.Л., Клименко С.А., Копейкина М.Ю.
ПОЛУЧЕНИЕ ПРИСАДОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ SnSbCu ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО АРМИРУЮЩИЕ И МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ 93

Клименко Г.П.
ТЕХНОЛОГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ 97

Клименко С.А., Мельнийчук Ю.А., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л.
ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ РЕЗАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ С ГЕТЕРОГЕННОЙ СТРУКТУРОЙ 100

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В.
МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО НАБОРУ ПАРАМЕТРІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ 103

Кондратюк Е.В., Кириченко В.В., Рябченко С.В., Манжос В.Г., Шурша А.В.
ШЛІФУВАННЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ВИСОКОПОРИСТИМИ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ 106

Константинов В.М., Булойчик И.А., Конон А.А.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСКИСЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ НА КАЧЕСТВО ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ 108

Константинов В.М., Епифанов Д.Е., Барисков Н.В.
СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ЦЕМЕНТУЕМЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ СФЕРОДВИЖНОЙ ШТАМПОВКЕ 112

Константинов В.М., Ткаченко Г.А.
К ВОПРОСУ ИНТЕНИСФИКАЦИИ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ АЗОТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 115

Константинов В.М., Щербаков В.Г.
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ЧУГУННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ 120

Корешков В.Н., Чуйко М.Г., Хейфец И.М.
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ НЕВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, С УЧЕТОМ ОШИБОК КЛАССИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ 124

Кристаль М.Г.
ВРЕМЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ 126

Кузьмин В.И., Сергачев Д.В., Руденская Н.А., Соколова Н.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХЗВУКОВЫМ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ 130

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Пасичный О.О., Смоквина В.В., Зайцева И.Н., Тимошенко В.В.
ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА 134

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Шатохин В.В., Пасичный О.О., Смоквина В.В., Зайцева И.Н.
ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С ДОБАВКАМИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ЭКПСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА 137

Лавриненко В.И., Молчанов В.Ф., Солод В.Ю., Бурчак О.О., Проц Л.А.
ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ШЛАМА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЦАРАПИН НА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ 140

Лавриненко В.И., Полторацкий В.Г., Лещенко О.В., Солод В.Ю., Музычка Д.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПАКТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ 147

Лавріненко В.І., Шейко М.М., Пащенко Є.О., Рябченко С.В.
ВІДПРАЦЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИСОКОПОРИСТИХ АБРАЗИВНИХ КРУГІВ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ ПРЕЦИЗІЙНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ 150

Лавров А.С., Упырь В.Н., Тимошенко В.В., Чепиль В.В.
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ВНЕДРЕНИЕ ИХ НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ТМ. Велтек» 153

Лебедев В.А., Жук Г.В.
МЕХАНИЗИРОВАННАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА НА ПРЯМОЙ ПОЛЯРНОСТИ 155

Лебедев В.А., Жук Г.В.
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ 159

Лебедев В.А, Максимов С.Ю., Жук Г.В., Лой С.А.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ 162

Lebedev V.A., Novykov S.V.
ANALYTICAL DETERMINATION OF INCREASING THE SURFACING BEAD WIDTH IN DEPEND ON THE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE WELDED BATH VIBRATION 165

Максимов С.Ю., Лебедев В.А., Кражановский Д.Н., Жук Г.Н.
УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРАМИ МЕТАЛЛА ШВОВ, СВАРЕННЫХ ПОД ВОДОЙ, ЗА СЧЁТ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ 169

Мановицкий А.С.
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЗЦАМИ С РАДИУСОМ ПРИ ВЕРШИНЕ 171

Манохин А.С., Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Муковоз С.Ю., Муковоз Е.А., Береснев В.М.
ИЗНАШИВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ PCBN С НИТРИДНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ 173

Мироненко Є.В., Міранцов С.Л.
ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ 176

Молчанов В.Ф.
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ В ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЕ 178

Неведомский В.А., Чернышов А.В., Губская Т.А., Чернышов А.А.
НЕПРЕРЫВНО ЦИКЛИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ И КОНСТРУКЦИИ 182

Новік М.А., Юрчишин О.Я., Іващенко М.В.
СВЕРДЛОВИННІ ПНЕВМОГІДРАВЛІЧНІ ГЕНЕРАТОРИ ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ 185

Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Марініч М.А., Базалій Г.А., Пріхна Т.О., Сизоненко О.М.
МЕТОДОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ НАНОПОРОШКІВ АЛМАЗУ ДЕТОНАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ З ХІМІЧНО ОДНОРІДНОЮ ПОВЕРХНЕЮ 187

Орлов Л.Н., Голякевич А.А.
ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ Ø 0,9–1,2 мм ПРОИЗВОДСТВА «ТМ.ВЕЛТЕК» 190

Osadchii A.A., Devin L.N., Starostina A.V., Garbuz T.A.
THE USE OF MATERIALS BASED ON TiNi AND MAX-PHASES FOR VIBRATION DAMPING IN THE CUTTING PROCESS 194

Посвятенко Е.К., Кравченко С.О.
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ВУЗЛІВ ТА ДЕТАЛЕЙ ДВОТАКТНИХ ФОРСОВАНИХ ДИЗЕЛІВ 198

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П.
УТВОРЕННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ РЕГУЛЯРНИХ РЕЛЬЄФІВ НА ПОВЕРХНЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН 204

Родічев Ю.М., Шабетя О.А., Сорока О.Б., Веєр Ф.
КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗІ СКЛА НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ КРИВИХ СТАТИСТИЧНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ 208

Roik T., Vitsiuk Iu.
MANUFACTURING TECHNOLOGY OF THE COMPOSITE ANTIFRICTION ALUMINIUM ALLOY WASTES-BASED MATERIALS 211

Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Кудрявцев Е.М.
СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 45 215

Саленко А.Ф., Клименко С.А., Боримский А.И.
ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА ЗАГОТОВОК ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА И КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА 220

Сорока О.Б., Родічев Ю.М., Хворостяний В.В.
ПОШКОДЖУВАНІСТЬ ЗМІЦНЕНОГО СКЛА ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ПОВЕРХНІ ІНДЕНТОРОМ РОКВЕЛА 221

Тимофеєв С. С., Огульчанська Н. Р.
ВПЛИВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ РЕЙОК НА УТВОРЕННЯ ХВИЛЕПОДІБНОГО ЗНОСУ 225

Тимофеєва Л.А., Тимофєєв С.С., Воскобойников Д.Г.
ВІДНОВЛЕННЯ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ВАНТАЖНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ 227

Тимофеєва Л.А., Федченко І.І.
МОДИФІКУВАННЯ ЕЛЕКТРОПЕЧЕЙ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ 229

Харламов Ю.А., Борисов Ю.С.
ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОСНОВЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ 231

Харламов Ю.А., Романченко А.В., Мицык А.В.
ВЫБОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА 236

Шабайкович В.А.
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ 241

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Материалы 18-го Международного научно-технического семинара,
10–16 февраля 2018 г., г. Брно, Чешская Республика

Компьютерная верстка
Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 22.01.2018
Формат 60×84×1/16. Бумага типографская
Печать офсетная. Уч. изд. л. 25.
Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2