



Міністерство освіти і науки України
Державна інспекція України з питань захисту
прав споживачів

Державний комітет Білорусі по стандартизації
Асоціація технологів-машинобудівників України

Академія технологічних наук України

ДП Український науково-дослідний і навчальний центр
проблем стандартизації, сертифікації та якості

ДП «Укрметрестестстандарт»

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

Технічний центр НАН України

Одеський національний політехнічний університет

Союз інженерів-механіків НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Київський національний університет технологій та дизайну

Білоруський державний інститут метрології

Інститут прикладної фізики НАН Білорусі

Білоруський національний технічний університет

Білоруський державний університет інформатики і радіоелектроніки

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА



Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції

07–11 вересня 2020 р., м. Одеса

Київ – 2020

Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. – Київ: АТМ України, 2019.– 172 с.

Наукові напрямки конференції

- Побудова національних систем технічного регулювання в умовах членства в СОТ і ЄС: теорія і практика
- Процесно-орієнтовані інтегровані системи управління: теорія і практика
- Стандартизація, сертифікація, управління якістю в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Впровадження стандартів ISO 9001:2015 в промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної служби
- Метрологічне забезпечення і контроль якості продукції в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції на внутрішньому і зовнішньому ринку
- Впровадження інформаційних технологій в процеси адаптації, сертифікації та управління якістю
- Проблеми гармонізації технічних, нормативних та правових актів.

Матеріали представлені в авторській редакції

© ВГО АТМ України,
2020 р.

Агеев М.С. Херсонская государственная
морская академия, Херсон,
Рудковский А.В. Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев,
Соловых Е.К., Катеринич С.Е. Центральноукраинский
национальный технический университет, Кропивницкий, Украина
Белоцерковский М.А. Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ АЗОТИРОВАНИЕМ

Из многообразия способов нанесения упрочняющих защитных покрытий (УЗП) наиболее распространенными технологиями, используемыми при повышении эксплуатационных свойств деталей, являются методы газотермического напыления (ГТН), среди которых самым дешевым и простым методом является метод электродугового напыления (ЭДН) [1, 2]. Несмотря на большое количество разработок специалистов по ЭДН (Ю.С. Борисов, ИЭС НАН Украины, М.М. Студент, ФМИ НАН Украины, М.А. Белоцерковский ОИМ НАН Беларуси, зарубежных фирм Метко и Кастолин, других научных центров), в настоящее время исследования развиваются по усовершенствованию этой технологии и оборудования. [1, 3].

Главные недостатки напыленных покрытий – низкая прочность сцепления из-за значительной пористости, недостаточно высокая износостойкость и микротвердость из-за выгорания углерода и легирующих элементов при напылении [1, 2]. Существенное повышение свойств покрытий, полученных ЭДН, возможно путем сочетания ЭДН с лазерной (ЛО), ультразвуковой (УЗО), электроискровой (ЭИЛ), электронно-лучевой (ЭЛО) и др. методами обработки [4, 5]. Эффективным путем решения задачи повышения эксплуатационных характеристик покрытий, полученных ЭДН, является формирование в них высокопрочных поверхностных слоев методами химико-термической обработки (ХТО) [4, 6]. В попытках повышения свойств покрытий, полученных ЭДН, отмечают преимущество такого вида ХТО, как азотирование, который отличаются технологичностью, экологической безопасностью и экономической эффективностью [7–10]. Объединение нанесения покрытий ЭДН с их обработкой азотированием позволяет создать комбинированный метод инженерии поверхности.

С целью обоснования и доказательства целесообразности разработки технологий формирования УЗП на основе сочетания процесса ЭДН с азотированием (А), в частности, импульсным ионным азотированием (ИИА), нами были проведены исследования. Так, микротвердость ЭДН-покрытиях из стали мартенситного класса 40Х13 и аустенитного класса 12Х18Н10Т после обработки ИИА составляла от 5600 до 12000 МПа (табл. 1). Твердость не азотированной сердцевины напыленных слоев стали 40Х13 и 12Х18Н10Т сохраняется на уровне исходных значений.

Таблица 1 – Влияние температуры ИИА на микротвердость покрытий, полученных электродуговым напылением

Материал покрытия	Микротвердость, ГПа при Т, °К ИИА						
	600	620	650	670	700	720	770
Стали мартенситного класса	8,6	11,3	12,9	14,0	15,9	12,7	11,3
Стали аустенитного класса	5,6	6,2	8,0	8,9	11,1	12,0	11,8

Согласно полученных данных, по мере увеличения температуры ИИА покрытий возрастает глубина модифицированного слоя (до 90 мкм). Азотирование напыленных покрытий из сталей аустенитного класса приводит к образованию модифицированных слоев толщиной до 40–50 мкм. Микротвердость напыленного слоя увеличивается в результате обработки азотированием и при 670–720 К достигает максимальных значений (14000–15900 МПа). Основными фазами, присутствующими в модифицированных азотом напыленных слоях из стали мартенситного класса (40Х13), являются нитриды ϵ -(Fe,Cr)₃N и γ' -Fe₄N.

Отличительной чертой азотированных слоев на покрытиях, полученных ЭДН является присутствие в них частиц фазы α'' -(Fe,Cr)₈N, а также пониженное содержание в них нитридной фазы γ' -Fe₄N и относительно более высокое содержание нитрида CrN. Повышенная диффузионная проницаемость покрытий вызвана высокой концентрацией содержащихся в них дефектов (вакансий, дислокаций, пор), которые образовались в условиях сверхбыстрой кристаллизации капель расплава в процессе ЭДН. При этом, присутствие термодинамически стабильного легированного хромом оксида Fe₃O₄ в виде пленок, разделяющих напыленные частицы, затрудняет диффузионный перенос азота от верхнего слоя частиц к нижележащим слоям. Наибольшая глубина азотирования достигается в напыленных покрытиях при пониженном содержании оксидных пленок.

Основной причиной, обуславливающей небольшую глубину насыщения азотом напыленных покрытий (15–30 мкм) является наличие ок-

сидных пленок в покрытии. Оксиды образуются как во время полета расплавленных частиц, так и в процессе их кристаллизации на поверхности детали. По этой же причине покрытия, имеющие пористость более 7–14% практически невозможно упрочнить без образования дефектных участков, поскольку поверхность пор покрыта тонким слоем оксидов железа.

Устранить образование оксидных пленок возможно при распылении стальных проволок продуктами сгорания пропана и воздуха. В течение последующего нагрева до достижения температуры азотирования, которая находится в пределах 530–640 К в зависимости от марки стали, происходит процесс упрочнения и унос газообразных продуктов в вакууме. Таким образом, изменяя температуру процесса азотирования, соотношения потенциалов азота можно управлять глубиной диффузионного слоя и твердостью напыленных покрытий.

Исследование микротопографии поверхностей слоев напыленных покрытий после азотирования показало, что пористость покрытий отрицательно сказывается на их качестве. Установлено, что на напыленных слоях пористостью более 7% после азотирования на поверхности появляются участки вспучивания (вздутия) покрытия размером до 200–500 мкм. Очевидно, что чем больше пористость слоев, тем сильнее проявляется эффект вспучивания. Поэтому покрытия формировали распылением проволоочных сталей 40X13 и 12X18Н10Т продуктами сгорания пропана и воздуха, а не распылением воздухом, что обеспечивало пористость покрытий менее 7 %. Проведенные исследования показали, что при плотности напыленных слоев более 94% данный эффект не возникает.

Рост прочности сцепления характерен для покрытий, имеющих пористость в диапазоне 5–14 %, дальнейшее повышение пористости приводит к снижению адгезии (табл. 2). Повышение адгезии покрытий, полученных ЭДН с последующим азотированием, обусловлено развитием диффузионных процессов на границе между покрытием и подложкой, восстановлением окислов на поверхности подложки, релаксацией внутренних напряжений в покрытии.

Таблица 2 – Влияние пористости на прочность сцепления ЭДН-покрытий 40X13 (без нанесения подслоя)

Прочность сцепления (МПа) при различной пористости (%)					
≤ 4	5–9	7–10	10–14	12–16	13–17
37	43	55	47	43	35
41	55	67	63	50	39

Выводы. Проведены исследования с целью повышения свойств покрытий, полученных ЭДН сталей мартенситного и аустенитного классов, их обработкой азотированием и формирование УЗП на основе сочетания процесса ЭДН и азотирования.

Дана оценка целесообразности повышения свойств покрытий, полученных ЭДН из сталей мартенситного (40Х13) и аустенитного (12Х18Н10Т) классов, путем последующей их обработки азотированием. Исследован фазовый состав и микротвердость покрытий, полученных распылением проволок из сталей аустенитного и мартенситного классов. В результате исследований влияния азотирования на физико-механические свойства стальных напыленных покрытий установлено, что для эффективности процесса азотирования необходимо, чтобы покрытия имели пористость не более 7%, что обеспечивает образованию диффузионного слоя толщиной 40–50 мкм, микротвердостью 6500–15000 МПа. При этом прочность сцепления покрытий увеличивается в 1,6 раза, а износостойкость в 2,5–5,0 раз.

Показано, что комбинированная технология, сочетающая ЭДН и азотирование, позволяет получить значительный эффект по повышению свойств напыленных покрытий при снижении вероятности деформации детали. Процесс нанесения покрытий не создает сплошного нагрева детали, а обеспечивает нагрев только поверхностного слоя на необходимую для упрочнения глубину. Азотирование не изменяет форму, размеры детали и шероховатость ее поверхности, поэтому его можно использовать в качестве финишной обработки. В дальнейшем есть необходимость проведения исследований комбинированного метода инженерии поверхности, сочетающего электродуговое напыление с азотированием.

Литература

1. Ильющенко, А.Ф. Формирование газотермических покрытий: теория и практика / А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, С.П. Кундас, Б. Форманек. – Мн. : 2002. – 245 с.
2. Бороненков, В.Н. Основы дуговой металлизации. Физико-химические закономерности / В.Н. Бороненков, Ю.С. Коробов. – Екатеринбург: УрГУ, Унив. изд-во, 2012. – 267 с.
3. Студент, М.М. Розробка захисних та відновних електрометалізаційних покриттів з використанням порошкових дрітків / М.М. Студент : автореф. дис ... канд. техн. наук. – Львів, 1998. – 18 с.
4. Витязь, П.А. Упрочнение газотермических покрытий / П.А. Витязь, Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский. – Мн. : Бестпринт, 2004. – 192 с.

5. Лопата, Л.А. Повышения качества напыленных покрытий / Л.А. Лопата, Н.А. Медведева, Т.М. Туник, С.Г. Салий // Мир Техники и Технологий – 2005. – №8 (54). – С. 54–56.

6. Витязь, П.А. Повышение качества газотермических покрытий из проволочных материалов методами химико-термической обработки / П.А. Витязь, Р.О. Азизов, М.А. Белоцерковский, В.А. Кукареко // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 6. – С. 666–672.

7. Белоцерковский, М.А. Упрочнение химико-термической обработкой покрытий, полученных высокоскоростным распылением стальных проволок / М.А. Белоцерковский, В.М. Константинов, Г.А. Ткаченко // Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. докл. Международ симпозиума (Минск, 25–27 марта 2009). – Мн. : ГНПО ПМ НАН Беларуси, ОИМ НАН Беларуси, 2009. – С. 178–184.

8. Ляшенко, Б.А. Газотермическое напыление и ионное азотирование – перспективное сочетание / Б.А. Ляшенко, М.А. Белоцерковский, В.Н., Лопата и др. // Инжен. поверхн. и реновация изделий: мат. 14-й Международ. научн.-техн. конф., 2–6 июня 2014, Свалява. – К. : АТМ Украины, 2014. – С. 79–80.

9. Ageev, M. Of combined electric arc coatings / M. Ageev, L. Lopata, T. Smirnova, A. Dudan // Inter. Sci. J. Prombles of tribology. – 2019. – Vol 24, № 3/93. – P. 56–61.

Агеев М.С., Шарко А.В. Херсонская государственная морская академия, Херсон
Соловых Е.К. Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Использование комбинированных методов нанесения упрочняющих защитных покрытий (УЗП) является перспективным направлением при повышении эксплуатационных свойств деталей судовых машин и механизмов (СММ). В работе предложен комбинированный способ получения УЗП путем синтеза интегрированных или так называемых

«гибридных», процессов электроискрового легирования (ЭИЛ), электродугового напыления (ЭДН) и импульсного азотирования (ИА), который позволит решить актуальную научно-техническую проблему повышения эксплуатационных свойств деталей СММ.

Из интегрированных технологий наибольший эффект по несущей способности обеспечивают дуплексные покрытия [1, 2]. Дуплексные (комбинированные) покрытия обеспечивают повышение твердости, износо- и коррозионной стойкости [3], снижают вероятность пластической деформации деталей в условиях контактных нагрузок, обеспечивают повышение несущей способности и границы выносливости системы деталь-покрытие. В работе представлено обоснование целесообразности выбора ЭИЛ, ЭДН и ИА при создании комбинированного способа получения УЗП. Критерием выбора состава комбинированного способа нанесения УЗП было сравнение затрат и увеличение комплекса механических свойств восстановленных и упрочненных деталей. При выборе первичных методов, входящих в состав комбинированного способа создания УЗП, решающим фактором являлось наличие оборудования и возможность интегрировать их в единый технологический цикл [4]. При выборе ЭИЛ, ЭДН и ИА в составе комбинированного способа нанесения покрытий учитывали следующие положения:

- в процессе нанесения покрытий было исключено расплавление основы и покрытия, т. е. изменение химического состава и свойств материалов покрытия и детали;
- тепловой режим нанесения покрытий обеспечивал в покрытии и в зоне соединения его с восстанавливаемой поверхностью детали образование сжимающих остаточных напряжений, которые способствуют

повышению сопротивления усталости;

- длительность процесса нанесения покрытий была минимальной, что позволило исключить нежелательные изменения в структуре.

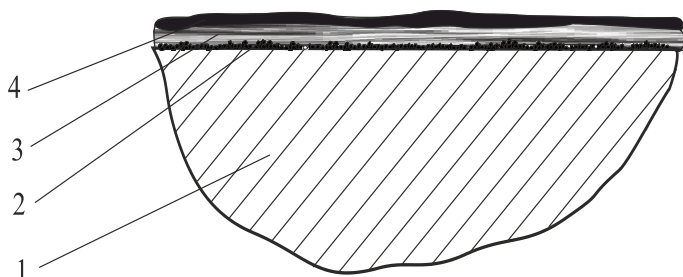


Рис. 1 - Схема покрытия, полученного комбинированным способом:

1 – основа (сталь Ст. 3); 2 – подслои (сталь X20H80), полученным предварительным ЭИЛ; 3 – ЭДН покрытие с проволочных сталей 40X13/X18H10T; 4 – слой, полученный ТЦ ИА

Схема создания покрытия электродуговым напылением с предварительным ЭИЛ и обработкой ТЦ ИА представлена на рис. 1. Покрытие по этой схеме получали следующим образом:

- предварительная обработка ЭИЛ (рис. 2, *а*) при одновременном насыщении поверхности нихромом (Х20Н80) с целью повышения адгезии напыленного покрытия с основой;
- ЭДН – распыление металла (проволочных сталей 40Х13/Х18Н10Т), расплавленного в электрической дуге (рис. 2, *б*), струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси;
- ИА напыленного покрытия (рис. 2, *в*).

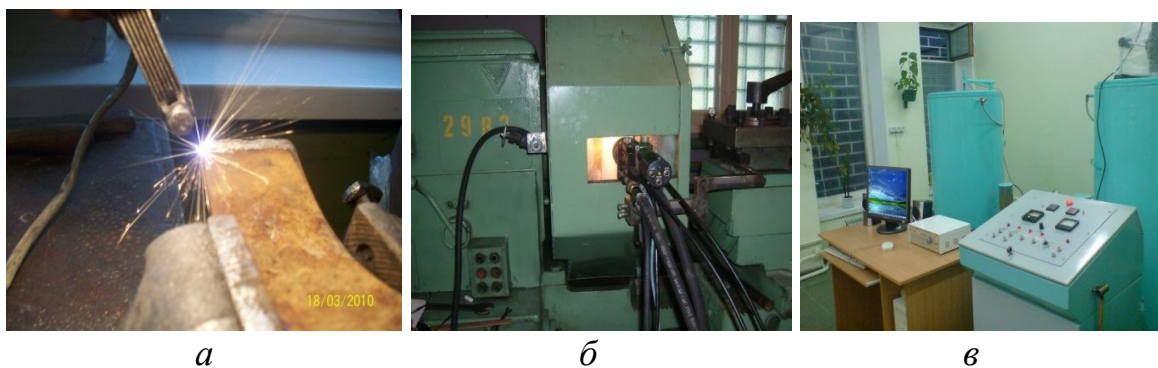


Рисунок 2 – Получение УЗП комбинированным способом:
а – предварительным ЭИЛ + *б* – ЭДН + *в* – обработкой ИА

При обработке восстанавливаемых и упрочняемых поверхностей перед ЭДН предложено использовать метод ЭИЛ, который позволяет получать покрытие с уникальным комплексом физико-механических свойств, причем наноситься покрытие из либо-каких токопроводящих материалов, без нагревания всего изделия. При этом обеспечивается высокая прочность сцепления покрытия с изделием, что повышает срок его службы.

Импульсное ионное азотирование предложено использовать с целью повышения твердости и износостойкости электродуговых покрытий при замене дорогих порошковых проволок на проволоки сплошного сечения из сталей мартенситного и аустенитного

Таким образом, способ создания УЗП из сталей мартенситного и аустенитного классов комбинированной технологией, включающей ЭИЛ, ЭДН и ИА позволит решать важную научно-техническую проблему – повысить износостойкость и другие эксплуатационные характеристики деталей СММ.

Литература

1. Агеев, М.С. Повышение ресурса судовых насосов на основе комбинированной технологии восстановления / М.С. Агеев, Е.Е. Кожевникова, С.Л. Чиграй // Водный транспорт : сб. науч. тр. – 2015. – Вып. № 2(24). – С. 57–70.

2. Агеев, М.С. Применение гибридных технологий для реновации и повышения ресурса судовых машин и механизмов / М.С. Агеев, А.В. Дудан, Т.В. Ворона, Б.А. Ляшенко // Вестн. Брест. ГТУ. Машиностроение. – 2015. – Вып. №4(94). – С. 18–22.

3. Агеев, М.С. Защитные и упрочняющие покрытия в судостроении и судоремонте / М.С. Агеев, Ю.В. Волков, С.Л. Чиграй // Наук. вісник ХДМА. – 2015. – № 2 (13). – С. 110–124.

4. Ляшенко, Б.А. Поверхностное упрочнение комбинированными методами нанесения износостойких покрытий / Б.А. Ляшенко, В.Н. Корж, А.В. Ворона, А.В. Лопата / Инженерия поверхности и реновація изделий: мат. 14-й Международ. науч.-техн. конф., 1-4 июня 2014, За-тока, Одесская обл. – К. : АТМ Украины, 2014. – С. 53–55.

Артемьев В.М., Наумов А.О. Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ОТКАЗОУСТОЙЧИВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В процессе функционирования промышленных объектов наблюдаются отказы их элементов, приводящие к ухудшению качества работы или к полному прекращению функционирования. Одним из способов повышения отказоустойчивости является обнаружение места отказа и замена вышедшего из строя элемента на работоспособный. Условием для выполнения такой операции является обнаружение отказа путем измерения и фильтрации данных мониторинга объекта. Алгоритмы, выполняющие эту операцию, называются отказоустойчивыми. Актуальность задачи нахождения таких алгоритмов вытекает из необходимости повышения работоспособности технических систем. Общая методика решения задач фильтрации в условиях отказов датчиков изложена в публикациях по теории систем со случайной структурой [1, 2]. В имеющихся работах используется статистический подход, в том числе на основе методологии фильтра Калмана, что затрудняет решение задачи в реальном масштабе времени. Рассматривался случай внезапных отказов с их обнаружением по результатам измерений. Решение состоит в обнаружении и исключении канала с неисправным датчиком. При этом производится реконфигурация фильтра с учетом рабочих каналов измерений.

Алгоритм фильтрации. Полезный сигнал является случайной последовательностью в виде многомерного вектора, каждая компонента которого измеряется посредством параллельного включения нескольких безынерционных линейных датчиков. Модель сигналов и измерений задается в виде стохастических конечно-разностных уравнений.

Решение задачи состоит в нахождении уравнений текущей оценки вектора полезного сигнала на основе выбранного критерия оптимальности рекуррентным методом наименьших квадратов. Получено уравнение оптимального фильтра и найдены коэффициенты его усиления.

Работоспособность фильтра при отказе датчика достигается путем параллельного резервирования. При этом требуется выполнение операции обнаружения момента отказа, отключения канала отказавшего датчика и изменения алгоритма фильтрации с учетом смены условий функционирования. При статистическом подходе алгоритмы оказываются весьма сложными и требуют больших вычислительных затрат при реализации в реальном масштабе времени. Сокращение возможно путем перехода от статистического к детерминистскому подходу для синтеза фильтров на основе рекуррентного метода наименьших квадратов. Рассмотрен метод такого синтеза и на его основе получены уравнения фильтра и обнаружителя отказов. Структура этих уравнений получается достаточно простой для реализации и позволяет сохранять работоспособность фильтра при отказах датчиков [3]. Синтезированные фильтры позволяют оперативно исключать данные отказавшего датчика из результатов измерений и сократить вычислительные затраты при работе алгоритма в режиме реального времени.

Практическое применение. Предложенный метод и полученные на его основе алгоритмы применены для решения задачи синтеза диаграммы направленности антенн с заданной шириной в радиолокационных станциях с линейным сканированием луча и амплитудной обработкой сигналов [4]. В основе метода лежит многоканальная обработка сигналов с последовательным их измерением в процессе сканирования. Сигналы на выходе каналов взвешиваются посредством весовых коэффициентов и затем суммируются, образуя синтезированную диаграмму направленности. Метод синтеза основан на оптимальном выборе весовых коэффициентов по критерию минимума дисперсии шумов на выходе при заданной ширине диаграммы направленности. Разработан метод синтеза дискриминационных характеристик с желаемыми параметрами, такими как коэффициент преобразования, ширина и значения функции в заданных дискретных точках. Отказы в таких системах приводят к изменению этих параметров, что увеличивает ошибки сопровождения по угловым координатам или приводит к потере работоспособности системы. Обнаружение отказа дает возможность проводить

реконфигурацию алгоритма синтеза дискриминационной характеристики и тем самым снижать ошибки фильтрации и сохранять работоспособность системы. Решение поставленной задачи приводит к уменьшению отношения сигнала к шумам и росту амплитуд боковых лепестков диаграммы направленности. Возможности метода показаны на модельных примерах синтеза диаграмм направленности при различном числе каналов измерений. Дальнейшие исследования можно вести в направлениях решения задач автокомпенсации внешних помех, действующих по боковым лепесткам.

Литература

1. Артемьев, В.М. Теория динамических систем со случайными изменениями структуры / В.М. Артемьев. – Мн. : Высшая школа, 1979. – 160 с.
2. Казаков, И.Е. Анализ систем случайной структуры / И.Е. Казаков, В.М. Артемьев, В.А. Бухалев. – М. : Наука, 1993. – 270 с.
3. Артемьев, В.М. Отказоустойчивая фильтрация при внезапных отказах датчиков на основе детерминированного подхода / В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Информатика. – 2017. – № 3. – С. 62–71.
4. Артемьев, В.М. Синтез диаграмм направленности антенн РЛС с линейным сканированием луча и амплитудной обработкой сигналов // В.М. Артемьев, А.О. Наумов, Л.Л. Кохан // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 232–239.

Базров Б.М. Институт машиноведения

им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

Гуревич В.Л. Белорусский государственный институт

метрологии Госстандарта Республики Беларусь,

Хейфец М.Л. Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск,

Попок Н.Н. Полоцкий государственный университет,

Новополоцк, Беларусь

ОЦЕНКА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИЗДЕЛИЯ

Определение и оценка изменений при проектировании изделий, в технологических и эксплуатационных процессах и при их утилизации, а также стоимостных показателей и показателей качества машин с учетом их взаимного влияния затруднены многосвязным характером взаимодействий формирующегося и трансформирующегося изделия.

Для разработки математического аппарата анализа технико-экономической эффективности показателей качества и стоимости изделия необходимо корректное понижение размерности задачи описания трансформации анализируемых свойств.

Корректному решению такой задачи описания способствует замена множества объектов, взаимодействующих с изделием, одним объектом – технологической или эксплуатационной средой при возможной тождественности результатов замены. Определение характеристик многосвязной среды позволяет при известных результатах ее взаимодействия с изделием находить рациональные значения показателей качества изделия и осуществлять направленное формирование технологической среды.

Для формализации условий целенаправленного создания технологических сред каждая совокупность одноименных компонентов системы описывается как некоторое множество конструкторско-технологических решений. Такой подход позволяет любую среду представить в виде кортежа, каждый элемент которой является элементом соответствующего множества решений.

Вследствие избыточности технологической среды по структурному составу, целесообразно в качестве целевой функции вместо конкретных значений совокупности критериев выбора (определяемых численными коэффициентами) использовать комплексные критерии процессов, обобщающие оценку конструкторско-технологических решений коэффициентами, учитывающими их степень влияния на технико-экономические показатели процессов, их трудоемкость.

Технологичность конструкции изделия (ТКИ) оказывает большое влияние на эффективность этапов жизненного цикла изделия – проектирования, изготовления, эксплуатации, утилизации. ТКИ должна показывать, насколько изделие приспособлено к эксплуатации, изготовлению и утилизации.

В основе разделения ТКИ на эксплуатационную и производственную технологичность лежит разделение характера производимых работ на этих этапах. Если сравнивать виды работ, производимых на этапах производства и утилизации, то можно отметить, что используются одни и те же технологии. Например, при разрезке заготовок и утилизации деталей применяются одинаковые технологические методы; при изготовлении конструкции изделия (КИ) в ряде случаев производится частичная разборка собранного изделия, как и при утилизации изделия.

Поэтому производственная технологичность должна учитывать процессы производства и утилизации КИ. Эксплуатационная ТКИ должна учитывать не только работы, связанные с эксплуатацией КИ, но так же

монтаж и ремонт КИ. Все это должно найти отражение в формулировках понятия эксплуатационной и производственной технологичности КИ.

Согласно стандартам (ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения; ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования), под ТКИ понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Из формулировки видно что, она не соответствует требованиям производственной технологичности. Она должна учитывать, во-первых, этап утилизации и, во-вторых, из нее следует исключить «объем выпуска», т.к. ТКИ зависит от технологии, а не от объема выпуска изделия и, в-третьих, следует исключить техническое обслуживание и ремонт, относящаяся к этапу эксплуатации изделия.

В связи с этим предлагается новая формулировка производственной технологичности: под производственной ТКИ понимается совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве и утилизации для заданных показателей качества и условий выполнения работ.

Отработка КИ на технологичность осуществляется на всех этапах ее создания и утилизации. Эффективность процесса отработки КИ на технологичность, во многом, зависит от достоверности оценки ТКИ. Оценка уровня производственной ТКИ осуществляется на этапах ее проектирования, технологической подготовки производства, изготовления и утилизации.

Наиболее сложно оценить ТКИ, когда неизвестны технологии ее изготовления и утилизации. Поэтому на этом этапе, оценка уровня ТКИ должна производиться, во-первых, не в абсолютных, а в относительных величинах, т.е. определяться степенью влияния характеристик КИ на трудоемкость и себестоимость изделия.

И, во-вторых, в качестве характеристик КИ должны учитываться только те, которые непосредственно не связаны с технологическими процессами изготовления и утилизации изделия. Например, к таким характеристикам относится разнообразие элементов содержащихся в КИ, которые не связаны непосредственно с технологическими процессами изготовления КИ, но в то же время влияют на трудоемкость ее изготовления. Так, чем больше разнообразие элементов в КИ, тем больше трудоемкость ее изготовления.

Таким образом, на основе технико-экономического анализа конструкторско-технологических решений предложен метод интегральной оценки производственной технологичности в жизненном цикле изделия. Метод оценки объединяет различные коэффициенты технологичности, учитывающие степень их влияния на трудоемкость производства и обслуживания, ремонта и утилизации конструкции изделия. По результатам технико-экономической оценки предлагается под производственной технологичностью понимать технологичность конструкции изделия на этапах его производства и утилизации.

Багдюн А.А., Соломахо В.Л. Белорусский
государственный институт метрологии, Белорусский
национальный технический университет, Минск, Беларусь

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ

Размер наночастиц является базовым параметром, влияющим на механические, физико-химические и другие свойства конечного продукта нанотехнологий. В этой связи важно оперативно и точно контролировать размерные параметры наночастиц, что возможно при наличии системы обеспечения метрологической прослеживаемости измерений их геометрических размеров.

Метрологическая прослеживаемость (Metrological traceability) – свойство результата измерения, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную неразрывную цепочку калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределённость измерения. Во главе «цепочки» находится национальный (или в некоторых странах первичный) эталон единицы величины (далее – эталон).

В зависимости от применяемых технологий наночастицы могут пребывать в различных состояниях (в виде аэрозоли, взвеси, порошка и т.д.), что делает процедуру обеспечения прослеживаемости измерений размеров наночастиц сложной многовекторной задачей. Рассмотрим примеры ее решения метрологическими институтами на постсоветском пространстве. В Российской Федерации единого эталона, предназначенного исключительно для измерения наночастиц, не существует. В то же время

«прослеживаемость» обеспечивается путем использования ряда эталонных средств измерений. В частности, введен Государственный первичный эталон единиц дисперсных параметров аэрозолей, взвесей и порошкообразных материалов (ГЭТ 163-2010), обеспечивающий измерение частиц в том числе в нанометровом диапазоне. Расширенная неопределенность измерения размеров наночастиц составляет 10%.

В качестве эталонного средства измерения наночастиц также применяется классификатор TSI 3081 для сепарации аэрозольных частиц размером от 0,01 до 1 мкм. В паре со счетчиком ядер конденсации TSI 3010, предназначенном для измерения счетной концентрации аэрозольных частиц размером от 0,01 до 3 мкм до 10^5 см^{-3} , он образует систему анализа дифференциальной электрической подвижности TSI 3080 для измерения счетной концентрации аэрозольных частиц размером 0,01 до 1 мкм до 10^8 см^{-3} .

Система анализа дифференциальной электрической подвижности не универсальна и может применяться только для газообразных сред. Для измерений наночастиц в жидких средах используется интерферометрический измеритель дисперсности. Сущность метода заключается в том, что наночастицы, взвешенные в жидкой среде, изменяют комплексный показатель преломления среды, а, следовательно, и набег фазы зондирующей электромагнитной волны внутри интерферометра. Прослеживаемость измерений сепарированных на подложку наночастиц обеспечивается использованием просвечивающего электронного микроскопа Libra 120 с разрешающей способностью по линии не хуже 0,2 нм, по точкам не хуже 0,34 нм и сканирующего электронного микроскопа NVision 40 с разрешающей способностью ионной колонны в 4 нм. Для передачи единиц размера и счетной концентрации на рабочие средства измерений в нанометровом и субмикронном диапазонах размеров применяются разработанные и аттестованные наборы мер нанометрового и субмикронного диапазонов. Меры, как правило, представляют собой взвеси моодисперсных наночастиц латекса в водной среде.

В качестве мер также используются стандартные образцы диаметра наносфер золота в жидкой среде ГСО 9629-2010. Данные стандартные образцы представляют собой суспензию наночастиц коллоидного золота в деионизованной воде. Комплект состоит из 3 ампул, содержащих водные суспензии наночастиц золота с номинальным размером 10, 30 и 60 нм. Массовая концентрация золота в суспензиях – около 50 мг/дм^3 .

В Казахстане для обеспечения прослеживаемости измерений размеров наночастиц применяется Государственный эталон единицы дис-

перських параметрів аерозолів, взвесей і порошкообразних матеріалів, побудований як і в Росії, на базі системи аналізу диференціальної електричної подвижності TSI 3080. Заявлена розширена неопределенность вимірювань діаметра частинок 3,3% .

В Україні і Литві спеціалізованих державних еталонів для забезпечення прослідковувальності вимірювань розмірів наночастинок немає. В якості еталонних засобів вимірювань наночастинок у вигляді аерозолю використовується система аналізу диференціальної електричної подвижності в національних метрологічних інститутах Німеччини (PTB), Швейцарії (METAS), Чехії (CMI) і Австрії (AVL).

В Білорусі еталонне обладнання для вимірювання наночастинок у вигляді аерозолю створюється на базі системи аналізу диференціальної подвижності частинок TSI 3738NL89. В відповідності з технічною специфікацією точність вимірювання частинок діаметром 100 нм складе 1%. Для взвесей наночастинок буде призначений аналізатор розмірів наночастинок SZ-100 виробництва Horiba. Заявлена точність вимірювань складає 2% на частинках у 100 нм. В якості універсального мікроскопа буде застосовуватися нановимірювальна і нанопозиціонуюча машина NMM-1 виробництва SIOS. Розрешальна здатність позиціонування складає 0,1 нм.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ РИЗИКІВ НА ТЕХНІЧНУ БЕЗПЕКУ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001:2015

На даний час обов'язкові технічні вимоги до відповідальної зварювальної продукції визначені Технічними регламентами [1–3] та конкретизовані стандартами, переліки яких затверджені відповідними наказами Міністерства економічного розвитку та торгівлі України.

Проте, в реальному житті, виробники зварних конструкцій стикаються з рядом небезпек, які можуть негативно впливати на виробництво і бути причиною випуску бракованої продукції, зниження обсягу випуску, втрачання ринку та інше. Небезпеки (небезпечні фактори) мо-

жуть мати по відношенню до виробництва як зовнішнє так і внутрішнє походження. Ці фактори детально розглянуто в [4]. Небезпеки породжують ряд невизначеностей щодо того, чи зможе виробництво досягнути поставлених цільових показників і у який термін. Такий вплив невизначеностей на цілі і розглядається як ризики [5].

Дійсно, за визначенням, згідно стандарту ДСТУ. ISO/IEC Guide 73:2013 «Керування ризиками. Словник термінів», термін ризик визначається як вплив невизначеності на цілі. Ризик часто характеризується посиленнями на потенційно можливі події і наслідки або їх комбінацій. Ризик часто виражається в комбінації події і пов'язаної з нами імовірності інцидентів. Невизначеність – це стан, також часткової, відсутності інформації відносно розуміння чи знання подій, його наслідків або імовірності [5].

Підприємство ідентифікує ризики, аналізує, оцінює ризики і приймає рішення чи слід змінювати ризик шляхом його обробки чи слід прийняти його [6]. Якщо такий процес керування конкретними ризиками інтегрований в загальну систему управління на підприємстві – це означає що підприємство впроваджує менеджмент ризику.

Важливою складовою керування ризиком і менеджменту ризиком, в цілому, є впровадження моніторингу в тому числі оцінювання якості продукції методами неруйнівного контролю і технічної діагностики. Контроль є діяльність яка визначає стан ризику конструкції, і за результатами контролю розробляються дії з обробки ризику з метою зменшення його ступеню.

Виробник, згідно Технічних регламентів, розробляє технічну документацію, яка повинна давати можливість оцінити відповідність продукції відповідним вимогам і включати опис проведення і результати належного аналізу та оцінки ризику (ризиків). У технічній документації повинні зазначатися застосовні вимоги та пов'язані з проведенням оцінки відповідності питання проектування, виробництва і функціонування продукції Технічна документація повинна у відповідних випадках містити принаймні такі елементи: – загальний опис продукції; – ескізний проект, виробничі креслення та схеми компонентів, складальних вузлів, електричних кіл тощо; – описи та пояснення, необхідні для розуміння зазначених креслень і схем та функціонування продукції; – список застосованих повністю чи частково національних стандартів та/або інших відповідних технічних специфікацій, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції суттєвим вимогам, а в разі, коли зазначені стандарти не були застосовані, – описи рішень, прийня-

тих з метою забезпечення відповідності суттєвим вимогам технічного регламенту. У разі часткового застосування національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності продукції суттєвим вимогам, у технічній документації повинні зазначатися їх частини, які були застосовані: – результати виконаних проектних розрахунків, проведених досліджень тощо; – протоколи випробувань.

Таким чином, однією з умов, які ставляться до проектування, виготовлення та розміщення товарів на ринку є «належний аналіз та оцінка ризику (ризиків)».

Ризик продукції виникає на всіх стадіях життєвого циклу зварювальної продукції. Кожний етап життєвого циклу «накладає» свій ризик, а найбільший ризик продукції утворюється при її експлуатації в реальних умовах. Поетапне виникнення ризику протягом життєвого циклу зварної конструкції схематично розглядається, як результат наступних основних груп складових: а) функціонування невідповідної системи менеджменту якості: проектування зварної конструкції, виробництва, технічного обслуговування та б) основних факторів зовнішніх загроз.

При підготовці технічного завдання, виконання проектування виконується аналіз призначеності продукції.

Аналіз призначення конструкції містить: – умови експлуатації; – законодавчі вимоги щодо конструкції та аналізування ризиків; – рівень якості аналогічної продукції на ринку; – аналіз ризиків впливів на людину при виробництві та експлуатації конструкції; – аналіз ризику впливу на навколишнє середовище при виробництві та експлуатації; – аналіз ризиків використання зварної конструкції не за призначенням; – аналіз залишкових ризиків після дій персоналу при усуненні екстрених ситуацій.

Стандарти менеджменту якості розглядають ризики як ймовірність відхилення кожного з процесів, який описує повну діяльність зварювального підприємства по управлінню; постачанню; виробництву конструкцій, моніторингу, застосовуючи методи НК і ТД. Тому рекомендуємо визначити ризики, притаманні кожному з процесів. Процесний підхід дозволяє визначити як власника процесу, так і власника ризику, та відповідальних за процес з яким пов'язано виникнення ризику. Це дозволяє також встановити процеси, які передують даному процесу і визначають причинно-наслідкові зв'язки при виникненню ризику при виготовленні конструкції.

Ризик експлуатації конструкції розглядається як ймовірність відмови і пов'язані з цим втрати. Відмовою може вважатися зміна властивостей конструкції понад граничний стан. Граничний стан від механічних

дій на будівельну конструкцію поділяють на дві групи, яка в свою чергу має підгрупи.

Перша група містить граничні стани, перехід через які призводить до повної непридатності об'єкта (основи конструкції, конструкції або елемента) до експлуатації і для яких позаграничними станами може бути: руйнування будь-якого характеру (в'язке, крихку, в результаті втомлюваності); втрата стійкості форми; втрата стійкості положення; перехід у змінну систему; якісна зміна конфігурації елементів зварної конструкції; інші явища, за яких виникає потреба в припиненні експлуатації (наприклад, виникнення перфорації стінки ємності з токсичними речовинами або надмірні переміщення основи при посадках сипучих ґрунтів).

Друга група містить граничні стани, які ускладнюють нормальну експлуатацію об'єкта або зменшують його довговічність порівняно з встановленим терміном експлуатації і для яких поза граничними станами є: надмірне перевищення або повороти деяких точок конструкції; недопустимі коливання (надмірні значення амплітуди, частоти, швидкості, прискорення); утворення та розкриття внутрішніх дефектів, досягнення ними граничнодопустимих значень розкриття чи довжини (в відповідальних конструкціях тріщини не допускаються); втрата стійкості форми у вигляді локального деформування; пошкодження від корозії чи інших видів фізичного зношення, які призводять до необхідності обмеження експлуатації внаслідок зменшення терміну експлуатації об'єкта.

Умова забезпечення безвідмовності, тобто не виходу за граничний стан, записується нерівністю виду [6]:

$$g(G_d, f_d, a_d, C, \gamma_n, \gamma_d, T_{ef}) \geq 0,$$

$g(o)$ – така функція параметрів системи, за якої $g(o) < 0$ означає досягнення позаграничного стану; G_d, f_d, a_d – розрахункові значення навантажень, характеристик міцності матеріалів або опору ґрунтів та геометричних характеристик конструкції відповідно; C – обмеження на параметр, що контролюється; γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю який враховує значущість конструкції і об'єкта в цілому, а також можливі наслідки відмови та враховується як множник до розрахункового значення навантаження; γ_d – коефіцієнт надійності моделі, який враховує невизначеність розрахункової схеми та інші аналогічні обставини приймається як множник до розрахункового значення навантаження.

З метою визначення швидкості можливого досягнення конструкцією критичного стану від корозійних впливів (або імовірності досягнення граничного стану протягом часу експлуатації T_{ef}), рекомендовано застосовувати показники оцінки якості [5].

Для врахування комбінації дій рекомендовано застосовувати метод аналізу ризику сіток Баєса [6]. Байєсовською статистикою можна розглядати ступінь довіри особи до виникнення певної події. Оскільки підхід Байєса базується на суб'єктивному тлумаченні імовірності, він забезпечує безпосередню основу для розглядання варіантів прийняття рішення. І розроблення мереж Байєса.

На відміну від інших методів інтелектуального аналізу даних, застосування байєсівських мереж до аналізу процесів різної природи, діяльності людини та функціонування технічних систем дозволяє враховувати та використовувати будь-які вхідні дані у вигляді експертних оцінок і статистичної інформації.

Метод мереж Байєса передбачає використання графічної моделі для зображенні низки змінних і їхніх імовірнісних зв'язків. Мережа складається з вузлів, що представляють випадкову змінну і стрілок, які зв'язують родинний вузол з дочірнім вузлом (родинний вузол є змінною), яка безпосередньо впливає на іншу (дочірню змінну). Приклади етапів які необхідно виконати для побудови мережі Байєса такі: – визначити змінні системи; – визначити причинні зв'язки між змінними; – установити умовні та апіорні імовірності; – додати доказове свідчення про мережі; – актуалізувати довірчі рівні; – виділити апостеріорні довірчі рівні.

Застосовуючи правило Байєса добуток визначають множенням апіорних даних і імовірності. Апостеріорні дані визначають діленням значення окремого добутку на суму добутків. Аналіз показує, що позитивний результат випробувань вказує на таке що апіорне значення зросло з 1 до 9%.

Впровадження менеджменту ризиків і забезпечення результативності потребує сильної і стійкої форми прихильності з боку керівництва підприємства а також стратегічного і детального планування для досягнення стійкої на всіх рівнях

Література

1. Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності»
2. Постанова Кабінету міністрів України №95 від 13 січня 2016 р. «Про затвердження модулів оцінки відповідності, які використовуються для розроблення процедур оцінки відповідності, та правил використання модулів оцінки відповідності»
3. Закону України «Про загальну безпечність нехарчової продукції» від 02.12.2010, № 2736-VI.

4. Бондаренко, Ю.К. Ковальчук О.В. Ідентифікація ризиків при виробництві зварних конструкцій для впровадження ризик-менеджменту на підприємстві / Ю.К. Бондаренко, О.В. Ковальчук // Неруйнівний контроль та технічна діагностика. – 2018. – №3. – С. 47–57.

5. Бідюк, П.І. Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних / П.І. Бідюк, О.М. Терентьєв, М.М. Коновалюк // Искусственный интеллект. – 2010. – № 2. – С. 104–113.

6. Тороп, В.М. Імовірносний ризик-аналіз експлуатації трубопровідних систем резервуарів та посудин тиску. Повід. 2. Метод оцінки функціональної придатності елементів конструкції за обмеженими статистичними даними / В.М. Тороп // Проблеми прочности. – 2005. – №3. – С. 96–103.

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

ВИБРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие технологии машиностроения в значительной степени зависит от технического уровня инструментального производства. Требования к инструменту постоянно возрастают, так как развитие современной техники приводит к появлению все новых материалов с более высокими значениями твердости и прочности. Условием производства высококачественного и долговечного инструмента является выбор типа инструментального материала, соответствующего назначению и нагрузкам, возникающим при его работе. При этом следует учитывать структурные и технологические факторы, определяющие поведение материала в процессе эксплуатации. Материал инструмента целесообразно рассматривать как интегральное понятие, объединяющее в себе вещество, технологию его получения, конструкцию, технологию изготовления и обработки.

В качестве режущей части инструмента широко применяются сменные многогранные пластины, на долю которых приходится примерно 70% всей срезаемой стружки. Одной из основных причин выхода таких пластин из строя являются сколы и выкрашивания режущих кро-

мок (РК), что вызвано превышением допустимых значений напряжений в режущем клине [1]. Режущая кромка являются важными элементами во многих инструментах. Исследования свидетельствуют, что округление кромок на режущих инструментах из любого инструментального материала способно существенно (от 2 до 8 раз) повысить стойкость инструментов, улучшить качество поверхностей изделий, повысить надёжность износостойких наносимых покрытий [2]. Для этих целей предусмотрена возможность финишной обработки.

Из отечественного и зарубежного опыта известно, что трудоемкость финишных операций в общей трудоемкости изготовления инструмента может превышать 20%. Сложность и многообразие форм обрабатываемых поверхностей затрудняют создание универсальных способов финишной обработки. Обработка эластичными алмазно-абразивными инструментами, электрохимическими и комбинированными методами, обеспечивающие шероховатость поверхности ($Ra\ 0,32-0,01$), имеют ряд существенных недостатков, к которым относятся многостадийность и большая трудоемкость обработки при повышенных требованиях к качеству поверхности, затруднительность обработки изделий сложной конфигурации при высоких требованиях к точности, формирование в процессе обработки дефектного поверхностного слоя, негативное влияние на физико-механические свойства поверхности и другие. Для этих целей предусмотрена возможность вибрационной обработки пластин в среде абразивного наполнителя. Величина радиуса округления (ρ) неоднозначно влияет на характеристики процесса резания. Его увеличение повышает прочность режущего клина, но ведет к росту силы резания и температуры рабочих поверхностей пластин. В связи с этим величина ρ находится в пределах от 0,02 до 0,10 мм и зависит от марки инструментального сплава и диаметра вписанной окружности пластины [3].

Обладая эффективным механизмом воздействия на пластины инструмента и широкими технологическими возможностями, отделочная операция может обеспечить необходимую степень качества режущих поверхностей, что обуславливает ее перспективность для чистового инструмента, оснащенного поликристаллическими сверхтвёрдыми материалами (ПСТМ). Однако виброабразивная обработка (ВАО) изучена, в основном, применительно к поверхностям деталей машин из пластичных материалов – сталей, цветных и твердых сплавов. При этом элементы обрабатывающей среды – гранулы наполнителя – значительно твёрже обрабатываемого материала, что обуславливает резание-царапание и макро-

пластическое деформирование последнего. При ВАО керамических сплавов твердость наполнителя и обрабатываемого материала одного порядка, поэтому механизм отделки и упрочнения поверхности качественно иной и изучен недостаточно. Если для чистового инструмента изыскивают методы и технологию заточки и доводки, обеспечивающие максимальную остроту режущих кромок, то для чернового инструмента одним из важных резервов является округление кромок, повышающее их сопротивление выкрашиванию и сколам. Вместе с тем механизм и кинетика округления кромок и вершин, играющие второстепенную роль для деталей машин, исследованы в недостаточной степени. Технология ВАО инструмента не отработана, имеющееся оборудование недостаточно эффективно, малопроизводительно и серийно не производится. Не уточнены эффективность и область рационального применения метода, не опробовано его перспективное сочетание с износостойкими покрытиями, в целом, он не получил должного развития [4, 5].

В связи с изложенным целью работы является повышение прочности, износостойкости и надежности фрезерного инструмента путем ВАО режущих элементов.

Для решения задачи эффективности применения режущих инструментов, оснащенных ПСТМ, при обработке труднообрабатываемых материалов возможны несколько альтернативных решений. Одним из таких решений является совершенствование конструкции режущего инструмента и оптимизации режимов резания, что позволяет снимать больший объем материала в единицу времени (резцы с зачистной кромкой, большим радиусом при вершине, инструменты с *wiper*-геометрией). Другим – управление контактным взаимодействием инструмента с обрабатываемым изделием в зоне резания за счет разработки и применения новых инструментальных композитов с более высокими геометрическими параметрами режущей кромки. Второе направление совершенствования режущих инструментов связано с повышением износостойкости инструмента в условиях интенсивных термобарических нагрузок, позволяет увеличить порог максимально допустимых скоростей резания.

Примером реализации первого направления является использование в процессе фрезерования инструментов кассетного типа [6], которые позволяют проводить процесс обработки с финишной подачей и большой скоростью резания, обеспечивая получение низкой шероховатости обработанной поверхности. Конструкция фрезы предполагает оснащение специально изготовленных кассет режущими пластинами по стандарту ISO 1832-2004 (SNUN 090300, SNUN 120400, RNMN 090300,

RNMN 1204), которые применялись в качестве объектов исследования. Их обработка во втором направлении проводилась в вибрирующем контейнере с абразивными рабочими телами амплитудой колебания 4 мм на установке [7] с массой загрузки 3/4 всего объема контейнера. На основании результатов было получена величина r пластин из ПСТМ 0,03 до 0,04 мм с шероховатостью поверхности Ra 0,01–0,02.

Установлено, что за счет округления режущих кромок, увеличенного округления вершин, уменьшенной шероховатости эффективность применения ВАО повышает прочность и износостойкость фрезерного инструмента, работающего в жестких условиях нагружения – прерывистое резание, средние и большие подачи, неравномерный припуск.

Литература

1. Трилисский, В.О. Финишная обработка сменных многогранных пластин с центральными отверстиями / В.О. Трилисский, Г.С. Большаков, А.В. Липов, Е.Н. Ярмоленко // Изв. ВУЗов. Поволжский регион. Техн. науки. – 2010. – № 2 (14). – С. 131–137.
2. Гах, В.М. Виброабразивная обработка твердосплавного инструмента: монография / В.М. Гах. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 220 с.
3. Инструменты из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко. – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
4. Бурыкин, В.В. Обработка деталей торцевой фрезой, оснащенной поликристаллическими сверхтвердыми материалами / В.В. Бурыкин // Инженерия поверхности и реновация изделий: мат. междунаро. науч. конф., 20–24.05.2019., г. Свалява. – К. : АТМУ, 2019. – С. 25–29.
5. Манохин, А.С. Перспективные типы покрытий для инструментов, оснащенных поликристаллическим КНБ / А.С. Манохин, С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, В.М. Береснев // Надтверді матеріали. – 2018. – № 6. – С. 78–88.
6. Бурикін, В.В. Патент України на корисну модель № 132606. Торцева фреза / В.В. Бурикін // Промислова власність. – 2019. – № 5.
7. Клименко, С.А. Патент України на корисну модель № 143357. Спосіб обробки багатограних пластин з надтвердої кераміки / С.А. Клименко, В.І. Бурлаков, Ю.Е. Рижов та ін. // Промислова власність. – 2020. – № 14.

К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ТЕЛ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

Современный уровень техники выдвигает перед инженерами, исследователями требования по созданию эффективных методов расчета, позволяющих снизить материалоемкость элементов при их достаточной прочности и надежности. Основная цель таких методов – исследовать напряженно-деформированное состояние рассматриваемых тел и распределение полей температур. Для этого необходимо сформулировать и решить краевые задачи теплопроводности, термоупругости. Во многих случаях достаточно ограничиться рассмотрением двухмерной области. Решение задачи теплопроводности для тел с изменяющимися тепловыми характеристиками представляет собой актуальную задачу при воздействии высоких полей температур. Аналитическое решение уравнения теплопроводности для тел конечных размеров практически невозможно, поэтому целесообразно для решения такого рода задач применять численные методы [1].

Рассмотрим уравнение теплопроводности в виде (1), которое справедливо для стационарного температурного поля T в случае переменного коэффициента теплопроводности $\lambda = \lambda(T)$:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) = 0, \quad i=1,2. \quad (1)$$

Введем новую функцию T^* следующим соотношением:

$$T^* = \int_0^T \lambda(T) dT. \quad (2)$$

Из этого соотношения будем иметь:

$$\frac{\partial T^*}{\partial x_i} = \lambda \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad i=1,2. \quad (3)$$

Подстановка (3) в (1) дает:

$$\Delta T^* = 0, \quad (4)$$

т.е. функция T^* удовлетворяет уравнению Лапласа (4). Таким образом, если функция $T^*(x_1, x_2)$ найдена, соотношение (2) позволяет определить температуру $T(x_1, x_2)$.

Согласно [2], коэффициент теплопроводности разных веществ изменяется в широких пределах и зависит от химического состава, физического строения и состояния вещества. Для многих материалов коэффициент теплопроводности изменяется по линейному закону:

$$\lambda = \lambda_0(1 - kT), \quad (5)$$

где k определяется с помощью экспериментальных кривых [3], λ_0 – коэффициент теплопроводности при исходной температуре.

Подставим (5) в (2) и после интегрирования получим:

$$T^* = \lambda_0 \left(T - \frac{1}{2} k T^2 \right), \quad (6)$$

отсюда:

$$T = \frac{1}{k\lambda_0} \left(1 - \sqrt{1 - 2kT^*} \right). \quad (7)$$

Таким образом, рассматриваемую задачу можно сформулировать следующим образом. В двумерной области температура подчиняется уравнению Лапласа (5). На границе L области D задано значение температуры $T^* = F$. Область D ограничена контуром L . В такой постановке имеем задачу Дирихле. Решение этой задачи ищем в виде потенциала двойного слоя:

$$T^* = \int_L \chi(y) \frac{\cos \varphi}{r} dl_y, \quad (8)$$

где $\chi(y)$ – плотность потенциала, φ – угол между радиусом $\bar{r}$ и нормалью к контуру L в точке интегрирования y , x – фиксированная точка при интегрировании.

Обозначим через x_L случай, когда точка x попадает на границу L области D . В окрестностях точки x_L потенциал (8) имеет два предельных значения и одно прямое значение. Все эти значения определяются по формулам скачка:

$$T^*(x_L) = \pi \chi(x_L) \eta + V.p. \int_L \chi(y) \frac{\cos \varphi}{r} dl_y, \quad (9)$$

где $\eta = 1$ – для внутреннего предела, $\eta = 0$ – для прямого значения и $\eta = -1$ для внешнего предела.

В случае внутренней задачи Дирихле внутренний предел из (9) приравниваем к заданному значению F и получаем интегральное уравнение:

$$\pi \chi(x_L) + V.p. \int_L \chi(y) \frac{\cos \varphi}{r} dl_y = F(x_L) \quad (10)$$

Определив из (10) неизвестную плотность потенциала $\chi(y)$ по формуле (8) получим значение T^* в любой точке рассматриваемой области D . Зная T^* , по формуле (7) определяется истинное значение температуры T в любой точке.

Литература

1. Хвисевич, В.М. Теория потенциала и ее применение в прочностных расчетах однородных изотропных тел при температурных воздействиях / В.М. Хвисевич., А.И. Веремейчик, В.В. Гарбачевский // Перспективные материалы и технологии / под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО «Витебск. гос. технолог. унт», 2017. – Т.2. – 507 с.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Высшая школа. – 1967. – 599 с.
3. Шнейдер, П. Инженерные проблемы теплопроводности / П. Шнейдер. – М., 1960. – 340 с.

Волошина Л.В., Цап О.І. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

У процесі експлуатації у фрикційних клинів гасників коливань візків вантажних вагонів можуть виникнути наступні несправності: зломи, тріщини і спрацювання поверхонь тертя, спрацювання або злом упорних ребер. Перераховані несправності фрикційних клинів вантажних візків приводять до збільшення динамічних сил, що викликають інтенсивний знос і пошкодження деталей і вузлів візка, також це веде до збільшення сил взаємодії між колесом і рейкою, до зниження стійкості колеса на рейці, плавності ходу вагона та збереження в ньому вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що при розробці заходів підвищення ресурсу деталей гасників коливань пропонувалися конструктивні зміни вузла, підбиралися для виготовлення деталей різні матеріали, змінювалася технологія поверхневої обробки. Проте запропоновані рішення не враховували негативних впливів на мікроструктуру фрикційних клинів при їх виготовленні та відновленні.

Останні доробки вчених, в яких вивчалися зносостійкість та механізм зносу матеріалів для виготовлення фрикційних клинів з різних матеріалів, виявили та пояснили переваги фрикційних клинів з сірого чавуну в порівнянні зі сталевими в литому стані.

Незважаючи на структуру чавуну марки СЧ35, який на теперішній час використовується для виготовлення деталей вантажних вагонів рухомого складу, а саме для виготовлення фрикційних клинів, вони часто виходять з ладу із-за зносу в похилій і вертикальній площині. Зношені деталі не відновлюються, їх необхідно замінити новими. Відновлення геометричних розмірів зношених деталей має певні труднощі відновлення геометричних розмірів відомими способами тому, що під час наплавлювання або напилювання утворюється безвуглецевий шар на поверхні чавунних виробів, який змінює структуру металевої основи. Щоб запобігти утворенню безвуглецевого шару, було запропоновано захистити поверхню нанесенням покриттів перед відновленням геометричних розмірів зношених деталей.

Недоліком відомих способів нанесення покриттів на чавунні деталі є те, що в технологіях хіміко-термічної обробки, які використовуються для нанесення покриття не формується перехідний шар - металева основа покриття. Тому розроблено спосіб відновлення чавунних деталей, сутність якого полягає у формуванні захисного покриття на поверхні чавунних деталей перед відновленням їх геометричних розмірів для захисту від знеуглецювання при наступній обробці. Для проведення трибологічних досліджень, на зразки СЧ35 наносили покриття із водного розчину солей міді, застосовуючи при цьому технологію окислення.

Для вибору оптимальних технологічних параметрів нанесення захисного покриття дослідження проводили на зразках виготовлених із реальних фрикційних клинів, з метою дослідження впливу технологічних параметрів на зносостійкість покриття.

Визначення залежності зносу покриття від температури формування покриттів проводили в інтервалі температур від 100–700 °С, та фіксували знос зразків. Залежність зносу покриття від концентрації солей міді у розчині досліджувалась в інтервалі від 5-60%. Залежність зносу від часу витримки досліджували в інтервалі від 1 до 20 хвилин.

Товщина утвореного в результаті обробки деталей покриття становить 20 мкм. Для проведення металографічних досліджень, на зразки, які були виготовлені із зношених фрикційних клинів (СЧ35) візків вантажних вагонів, наносили покриття із водного розчину солей міді.

Як показали проведені дослідження, мінімальний знос оброблюваних деталей, а саме фрикційних клинів, буде тоді, коли покриття формується при наступних технологічних параметрах обробки: температура нанесення покриття 450 ± 20 °С, концентрація солі у розчині 45%, час витримки 6-8 хвилин.

На основі проведених експериментальних досліджень запропоновано новий склад та технологію відновлення геометричних розмірів та структурно-фазового складу чавунних фрикційних клинів. Запропоновано технологію формування покриттів, які захищають основний метал від відбілення, що дає змогу в подальшому відновлення геометричних розмірів фрикційних клинів за допомогою наплавлення або напилювання. Пропонується застосовувати окислегування в водному розчині солей міді, з метою утворення захисного покриття перед відновленням геометричних розмірів наплавленням.

Встановлені залежності між параметрами нанесення та показниками зносу і на основі проведених досліджень визначено оптимальні параметри формування покриттів, а саме температура нанесення покриття 450 ± 20 °С, концентрація солі у розчині 45%, час витримки 6–8 хв.

Запропонована нова комплексна технологія відновлення чавунних фрикційних клинів, як показали лабораторні та експериментальні дослідження, забезпечує підвищення міжремонтних пробігів при збереженні технічних параметрів візка та забезпечить значні скорочення витрат на експлуатацію візка і вагона в цілому за весь життєвий цикл.

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

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТНОСТІ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ РИНКОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Забезпечення якості та конкурентності продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках найкраще досягається в маловитратному виробництві (Lean Production) [1] при мінімальних витратах, особливо при епідемії коронавірусу. В силу об'єктивних і суб'єктивних причин на Україні використовувалося витратне застаріле виробництво низькоякісної продукції. Знаючи і проаналізувавши причини цього, можна визначитися з необхідними заходами для їхнього усунення, намітити конкре-

тні завдання та заходи щодо поліпшення вітчизняного виробництва. За роки існування незалежності більшість керівництва в основному займалися збагаченням через шахрайство, крадіжки, хабарництво, що підтверджується їхніми статками, "нажитими непосильною важкою працею"? Де вже тут до виробництва, тим більше маловитратного? У результаті їх багаторічної "діяльності" За підсумками декларування доходів громадян у 2019 році в Україні зафіксовано 5143 мільйонери та три мільярдери. Україна постійно посідає останні місця в рейтингах країн світу за корисними показниками, але за то – перші по негативним. Зрозуміло, що при такому підході забезпечити якість і конкурентність продукції було неможливо. Тому цим питанням прийде́ться займатись спочатку.

На ефективне функціонування маловитратного виробництва конкурентної продукції впливають як внутрішні, так і зовнішні чинники [2]. Внутрішні чинники виникають у самій виробничій системі, а зовнішні – є результатом впливу зовнішнього середовища, які також впливають на внутрішні. Знаючи та проаналізувавши цю ситуацію, можна визначитися з необхідними заходами для їхнього усунення, намітити конкретні завдання та заходи щодо поліпшення вітчизняного виробництва.

Якість, конкурентність і витратність виробництва та економіка, є взаємопов'язаним цілим і тому проблема їхнього поліпшення повинна вирішуватися спільно з застосуванням системного підходу. Якість є базою конкурентності продукції, забезпечувана у виробництві як за рахунок якості складаних елементів, так і сучасності матеріально-технічної бази виготовлення, спеціалізації та кооперації, особливо організації виробництва, забезпеченням кваліфікованим персоналом. Забезпечення якості при конструкторській, технологічній та організаційній розробках продукції є одними з самих складних завдань, що дозволяють одержати додатковий економічний ефект маловитратного виробництва.

Якість продукції. Всі показники якості формуються не тільки протягом усього виробничого процесу виготовлення, але також і до його початку, приміром, впливом якості матеріалів, комплектуючих і т.п. Тому для повноти моделі формування якості необхідно розглядати спрямоване їх визначення на чотирьох етапах: конструкторському, технологічному, організаційному та експлуатаційному, на яких формуються окремі показники якості за рахунок особливостей конструкції деталей та вузлів, їхніх технологічних властивостей. На першому етапі за рахунок показників якості деталей, комплектуючих і складальних вузлів формуються показники якості конструкції виробу в цілому. Цей етап можна вважати основним, початковим. На технологічному етапі при реалізації технологічних про-

цесів виготовлення продукції, досягнуті величини показників якості матеріалізуються в реальних деталях, вузлах і виробках. Важливими будуть і організаційні чинники, які сприяють забезпеченню високих показників якості через оптимальну організацію робіт на всіх етапах. І, нарешті, експлуатаційний етап, організаційні чинники якого також дуже впливають на показники якості продукції. По-перше, це відноситься до збереження отриманого рівня якості при експлуатації виробів, роботі технологічного обладнання та оснащення. Друге, це ефект зворотного зв'язку впливу результату експлуатації на конструкцію виробів, технологію виготовлення та складання, що тепер недостатньо використовується. Деякі підприємства помилково вважають виробничий процес закінченням своєї роботи, а експлуатацію виготовленої продукції не простежують, позбавляючи себе ефективних важелів підвищення якості та конкурентності цієї продукції.

Можна застосовувати логістичний підхід, який є ефективною новою концепцією управління, що характеризується системним розглядом, при якому орієнтуються не на фрагменти чи функціональні елементи окремо, а на єдине ціле. Передбачається здійснення процесу за допомогою функцій логістики, виконуваних в логістичних потоках системи матеріальних, інформаційних, енергетичних, людських, фінансових, які взаємозалежні й взаємодіючі між собою. Функціями логістики є її тактика, організація, планування, керування, обчислення, контролінг, передача, обслуговування, сервіс. Можливий інструмент рішення може бути системно встановленим через співвідношення зв'язків, а також залежностей при визначенні оптимальних показників якості продукції в закладених умовах з найменшими супутніми витратами

Конкурентність продукції. Концепція конкурентності продукції полягає у швидкому її виготовленні на сучасному технологічному обладнанні відповідно до запиту ринку з малими витратами, обґрунтованою ціною та дешевою експлуатацією. Коротше – це *швидше, якісніше, дешевше та довговічніше!* Сутність цієї концепції полягає у швидкому реагуванні на попит, застосуванні принципів гнучкості зміни номенклатури продукції, максимізації показників якості на підставі високих її стандартів, мінімізації всіх видів витрат, у тому числі експлуатаційних, використання інноваційних технічних і інших рішень, оптимізації організації всіх видів застосовуваних основних і допоміжних процесів, потенційному зменшенні не ефективних етапів, обмеженості проміжних ланок як на етапах виготовлення продукції, так особливо її реалізації, здатності адаптації в умовах невизначеності, розвитку сервісу, лідерстві на ринку, гуманізації виробничих, ринкових і споживчих процесів.

Забезпечення конкурентності повинне починатися з виявлення та вивчення її структури (рис. 1). Загалом, структура конкурентності опирається на чотири елементи: **якість–витрати–ціна–експлуатація**. Якість продукції оцінюється показниками якості матеріалів, деталей, вузлів, що комплектують, виробу та всіх елементів у цілому. При невисоких показниках, які властиві більшості нашої продукції, сподіватися на високу конкурентність даремно.

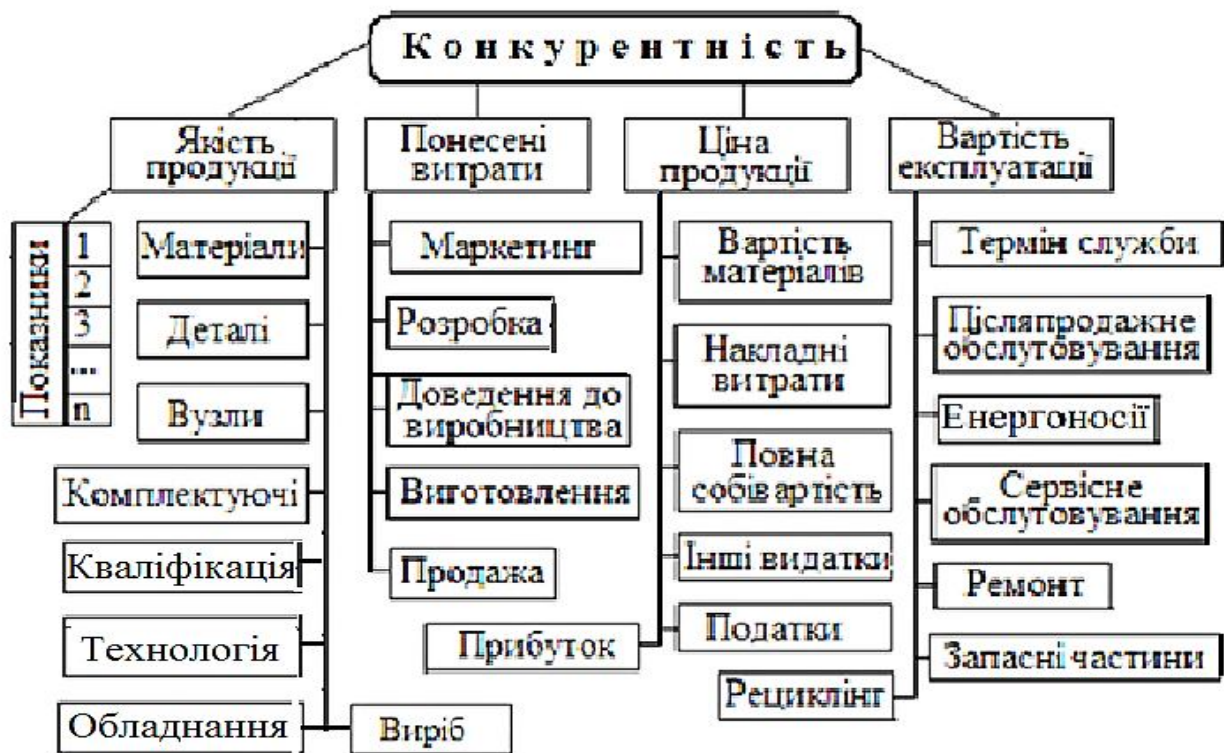


Рис. 1 – Структура конкурентності

Значну роль у забезпеченні конкурентності продукції займає підприємство, як самостійна, ініціативна, систематична, проведена на власний ризик виробнича діяльність. Тут відображається особливий тип господарювання по новаторських здатностях і одержанням успіху на основі інноваційної діяльності, де є кращі умови для забезпечення випуску високоякісної та конкурентної продукції, чим при традиційному виробництві. Стратегія виробничого підприємства полягає в прийнятті обґрунтованих, довготермінових заходів у сфері виробництва, а тактика – у методах, способах і формах досягнення поставлених короткотермінових цілей стратегії. Стратегія й тактика побудовані на застосуванні концепцій менеджменту з метою одержання найбільшого прибутку.

Витрати є головними при забезпеченні випуску конкурентної продукції [2, 3], якими потрібно управляти. Джерелом всіх витрат є кваліфікація персоналу, професійна діяльність і відношення до забезпе-

чення якості та конкурентності продукції. Управління витратами виробництва передбачає взаємозалежний комплекс робіт, які формують зменшені витрати при виготовленні якісної продукції. Управління витратами повинно носити комплексний та системний характер. Система управління витратами має передбачати: нормування витрат ресурсів, контроль за рівнем витрат, облік і аналіз витрат, визначення їхнього впливу на результати діяльності підприємства, пошук і виявлення чинників, що впливають на економію всіх видів ресурсів підприємства, формування діючої системи мотивації працівників по контролю та зменшенню витрат, матеріальне стимулювання економії ресурсів і зниження витрат. При цьому повинні виконуватися заходи, спрямовані на зменшення витратності виробництва. Багато корисного дає комп'ютерний супровід витрат всіх виробничих процесів. Основними резервами зниження витрат підприємств є: розширення спеціалізації та кооперації, зменшення трудових витрат, збільшення продуктивності праці, раціональне використання всіх ресурсів, дотримання строгого режиму економії на всіх етапах виготовлення продукції, безперервність поставок матеріальних ресурсів, скорочення витрат на обслуговування виробництва та управління, оптимізація витрат на транспортування, зберігання запасів, продукції і т.п.

Складністю при управлінні витратами є їхній динамізм, тобто постійний рух, різноманіття, труднощі виміру, обліку, оцінки, складність і суперечливість впливу на економічний результат і інші. Суб'єктами управління витратами є керівники, фахівці підприємства та виробничих підрозділів. Система управління витратами – це цільова, багаторівнева система, де об'єктом управління є витрати підприємства, а суб'єктом –управляюча система. Тепер використовуються наступні системи управління витратами: беззбитковості CVP виробництва, ABC, direct-costing і standart-costing, controlling, FMEA-Аналіз, benchmarking, фінансовий аналіз виробництва продукції, бухгалтерський баланс, система цільової калькуляції витрат Target Costing, Cost Saving і інші [2], які слід застосовувати.

Одним з напрямків підвищення ефективності маловитратного виробництва продукції є широке застосування комп'ютерних і інформаційних технологій, наприклад, ІРІ-технології, що відповідають CALS-technologies, [3]. Для них уже розроблений ряд програмних систем [3].

Висновки. Забезпечити якість та конкурентність продукції в умовах ринкової економіки краще всього за рахунок впровадження маловитратного виробництва, яке встановлює мінімальні витрати на їх виготовлення. При цьому не слід забувати, що в основі маловитратного ви-

робництва лежить розробка нової сучасної маловитратної продукції, переконструювання старої, використання сучасної матеріально-технічної бази. Основою істотного зменшення витрат є високоефективна технологія її виготовлення. Алгоритм організації маловитратного виробництва наступний: установлення сучасної продукції, забезпечення матеріально-технічної бази і технології виготовлення, кваліфіковані фахівці, якість, конкурентність, витратність.

Таким чином, ринкова концепція виготовлення продукції полягає у виготовленні конкурентної продукції за попитом і пропозиціями споживачів та ціною, встановленою ринком, з залученням виробничої системи ресурси: продукція, суб'єкти підприємництва, ринок ресурсів, продукція, кредити і фінанси, інвестиції, інновації, біржа, страхові компанії, венчурні фірми, комп'ютерні центри, системи зв'язку.

Література

1. Вумек, Д. Бережливое производство / Д. Вумек, Д. Джонс. – М. : Изд-во Альпина Паблишер, 2019. – 472 с.
2. Поппендик, М. Бережливое производство программного обеспечения / М. Поппендик, Т. Поппендик. – М. : Изд-во Вильямс, 2010. – 256 с.
3. Григорьева, Н.С. Малозатратное изготовление конкурентной продукции / Н.С. Григорьева, В.А. Шабайкович. – М.: Из-во: Palmarium academic publishing, 2015. – 440 с.

*Довгаль А.Г., Тамаргазін О.А., Варюхно В.В.,
Курбет Л.В. Національний авіаційний університет,
Київ, Україна*

МЕТАЛОКЕРАМІЧНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ ТА ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ

Запропонований матеріал стосується галузі порошкової металургії, а саме виготовлення високоміцного композиційного матеріалу з високою міцністю та зносостійкістю. Може використовуватися як матеріал деталей машин і механізмів широкого спектру призначення, що працюють в умовах тертя при підвищених швидко-навантажувальних параметрах та температурах, а також у якості шихти та компактного матеріалу для нанесення зносостійких покриттів.

Метою винаходу моделі «Металокерамічний матеріал на основі карбїду кремнію та оксиду алюмінію» є зниження коефіцієнту тертя, інтенсивності зношування та підвищення міцності матеріалу, що досягається шляхом додавання в зв'язку з оксиду алюмінію сталі Ст3 в гранулометричному складі від 250–400 нм. та рівномірному розподілі її в об'ємі шихти у результаті розмелу вихідної композиції у сталевих барабанах, виготовлених зі сталі Ст3. Максимальна концентрація сталеві домішки в шихті досягалася шляхом дослідження впливу тривалості розмелу протягом 32 годин та було встановлено, що з плином 32 год. настає насичення по гранулометричному і концентраційному складу шихти, зокрема вміст сталеві домішки насичується лише до значення 19,3%. Гранулометричний та елементний склад сталеві домішки в шихту додатково визначався методами растрові електронної мікроскопії та мікрорентгеноспектрального аналізу (мас.%):

- оксид алюмінію 41–42%
- карбїд кремнію 41–42%
- сталь Ст3 решта.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі і технічного результату очевидний із нижченаведеного опису. Як основа матеріалу використовується карбїд кремнію, що має достатньо високу твердість і міцність, однак внаслідок крихкості не може бути використаним в якості матеріалу для отримання зносостійких та міцних матеріалів. Введення до матеріалу Al_2O_3 призводить до підвищення щільності, міцності та зносостійкості, але у наслідок підвищених температур гарячого пресування матеріалу спостерігався рекристалізаційний ріст зерен карбїду кремнію, що супроводжувався ростом дефектів та погіршенням властивостей матеріалу. Введення до матеріалу домішок сталі Ст3 у субнанорозмірному вигляді призводить до інтенсифікації процесів теплообміну, а, як наслідок, зменшення температури гарячого пресування, та заповнення мікропустот пористості матеріалу. Як наслідок отримується дрібнодисперсний високо щільний композиційний матеріал з покращеними фізико-механічними властивостями.

Матеріал одержували методами порошкової металургії. Вихідні порошки карбїду кремнію, оксидів алюмінію змішували та розмелювали у відповідних співвідношеннях в середовищі ацетону в планетарному млині протягом 4–32 годин. Суміш висушували в сушильній шафі, а потім просіювали через сито. Середня величина частинок не перевищує 2–6 мкм. Зразки одержували методом гарячого пресування в графітових прес-формах в температурному інтервалі 1540–1770 °С, при тиску

2,0 МПа, час витримки 3 хвилини. Залишкова пористість таких зразків не перевищує 6–23%.

Матеріал одержували таким чином:

- Приклад 1. Порошки карбіду кремнію 50 мас.%, оксиду алюмінію 50% змішували та розмелювали у відповідних співвідношеннях в середовищі ацетону або спирту-ректифікату в планетарному млині протягом 4 годин. Суміш висушували в сушильній шафі, а потім просіювали через сито. Середня величина частинок не перевищує 6,8 мкм. Намел сталі Ст3 складав 6,8% (мас.%). Зразки одержували методом гарячого пресування в графітових прес-формах в температурному інтервалі 1750–1770 °С, при тиску 2,0 МПа, час витримки 3 хв. Залишкова пористість таких зразків складає 23,2%.
- Приклад 2. Порошки карбіду кремнію 50 мас.%, оксиду алюмінію 50% змішували та розмелювали у відповідних співвідношеннях в середовищі ацетону або спирту-ректифікату в планетарному млині протягом 8 годин. Суміш висушували в сушильній шафі, а потім просіювали через сито. Середня величина частинок не перевищує 4,8 мкм. Намел сталі Ст3 складав 10,9% (мас.%). Зразки одержували методом гарячого пресування в графітових прес-формах в температурному інтервалі 1600–1630 °С, при тиску 2,0 МПа, час витримки 3 хвилини. Залишкова пористість таких зразків складає 21,9%.
- Приклад 3. Порошки карбіду кремнію 50 мас.%, оксиду алюмінію 50% змішували та розмелювали у відповідних співвідношеннях в середовищі ацетону або спирту-ректифікату в планетарному млині протягом 16 годин. Суміш висушували в сушильній шафі, а потім просіювали через сито. Середня величина частинок не перевищує 2,2 мкм. Намел сталі Ст3 складав 16,3% (мас.%). Зразки одержували методом гарячого пресування в графітових прес-формах в температурному інтервалі 1530–1560 °С, при тиску 2,0 МПа, час витримки 3 хвилини. Залишкова пористість таких зразків складає 6,5%.
- Приклад 4. Порошки карбіду кремнію 50 мас.%, оксиду алюмінію 50% змішували та розмелювали у відповідних співвідношеннях в середовищі ацетону або спирту-ректифікату в планетарному млині протягом 32 годин. Суміш висушували в сушильній шафі, а потім просіювали через сито. Середня величина частинок не перевищує 2,1 мкм. Намел сталі Ст3 складав 19,3% (мас.%). Зразки одержували методом гарячого пресування в графітових прес-формах в температурному інтервалі 1510–1540 °С, при тиску 2,0 МПа, час витримки 3 хв. Залишкова пористість таких зразків складає 9,6%.

В табл. 1 наведені фізико-механічні і триботехнічні властивості матеріалу: коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування зі сталевим та керамічним контртілом, міцність на згин; які було визначено на отриманих зразках. Міцність на згин визначали за стандартною методикою, затвердженою міжнародним стандартом ISO/TC206 при 4^х точковому згині для зразків розміром 5×5×35 мм. Механічна обробка поверхні алмазними колами проводилась по довжині зразків. По ребрам знімалися фаски.

Таблиця 1 – Склад та властивості зносостійкого матеріалу

№	Склад матеріалу, мас. %			Густина, г/см ²	Інтенсивність зношування по сталевому контр тілу ±0,8 мкм/км	Інтенсивність зношування по керамічному контртілу ±0,8 мкм/км	Міцність на згин, МПа	Пористість, %
	SiC	Al ₂ O ₃	Ст3					
1	46,6	46,6	6,8	3,68	7,9	14,6	125,3	23,2
2	44,55	44,55	10,9	3,77	5,6	10,8	175,7	21,9
3	41,85	41,85	16,3	3,89	3,8	6,5	284,0	6,5
4	40,35	40,35	19,3	3,97	5,8	4,0	309,6	9,6
Прототип								
	50	50	–	3,57	23,4	35	148,3	3,6

Інтенсивність зношування (I , мкм/км) визначали за схемою «площина-площина» за методом роботи при навантаженні $P = 2$ МПа та швидкості ковзання $V = 15$ м/с.

Таким чином, найбільш ефективні властивості матеріалу виявляються в інтервалі концентрацій компонентів: SiC – 41–42%; Al₂O₃ – 41–42%; Ст3 – 16–17 %;

Матеріал може бути використаний для деталей машин та механізмів, що працюють в умовах підвищеного зносу та температур, великих швидкісних навантажень та агресивних середовищах.

Література

1. Мамикін, Є.Т. Комплекс машин і методики визначення антифрикційних властивостей матеріалів при терті-ковзанні / Є.Т. Мамикін, М.К. Ковпак, А.І. Юга та ін. // Порошкова металургія. – 1973. – №1. – С. 67–72.

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ И МЫ

Человек создал дом, чтобы уберечься от естественных неблагоприятных факторов (вулканов, осадков, молний, зверей и т. п.) и обеспечить себе комфортные условия (освещение, давление, температуру, влажность). Но сам дом несет в себе угрозу перегрев на рабочем месте, поражения электрическим током, пожары, обрушения, загазованности. Не меньше опасностей подстерегает человека и на производстве (шум, вибрация аэрозоли, электромагнитные поля и т.п.).

Чрезвычайные ситуации (ЧС) природного характера имели место на Земле с незапамятных времен. К подобным катаклизмам можно отнести несколько ледниковых периодов, последний из которых закончился 15 тысяч лет назад. Не менее разрушительными для окружающей природной среды Земли могли быть падения крупных космических тел (с этим связывают исчезновение флоры и фауны мезозоя), мощные извержения и взрывы вулканов.

На значительных территориях Земли уничтожены высокоразвитые цивилизации и крупные государства, из-за резкого изменения климата. Например, существовавшее на плодородных почвах юго-запада Аравии более 1000 лет до н.э. Сабейское царство погребено под песками из-за наступления пустыни, а в центре нынешней Сахары за 6000 лет до н.э. находились обширные пастбища, так как количество осадков здесь было до 400 мм в год (в настоящее время – 5 мм в год). На территории СНГ начиная с X в. зафиксировано 162 землетрясения, 137 наводнений, 136 ураганов, 185 случаев эпидемий, 360 засух, 93 случая нашествия вредителей (грызунов, саранчи), 350 голодных зим, 105 возвратов заморозков в начале лета.

В наши дни мировой научно-технический прогресс в определяющей степени способствует невиданному росту благосостояния людей. Но прогресс таит в себе и огромные опасности. Большинство крупных аварий и катастроф на Земле являются результатом насыщенности, как производства, так и сферы услуг сверхсовременной техникой, сложнейшими системами контроля и автоматики. При этом резко увеличивается вероятность технических неполадок или человеческих ошибок в процессе эксплуатации техники. Масштаб крупных техногенных ката-

строф уже вполне соизмерим с чрезвычайными ситуациями военного времени. Не меньшую угрозу со стороны промышленности представляет наличие в сфере мировой энергетики почти 10 млрд тонн условного топлива, которое способно отравлять окружающую среду, гореть и взрываться. Стремительно растет число несчастных случаев, аварий и катастроф, заканчивающихся значительными материальными потерями и жертвами. Почти повседневными стали аварии на предприятиях химической, угольной промышленности, при нефтедобыче и нефтепереработке, в авиации, на транспорте. Наиболее часто при подобных авариях происходят взрывы продуктопроводов и оборудования, обрушения строительных или транспортных конструкций. Отмечается заметный рост отрицательных последствий пожаров, взрывов, заражений, наводнений. Чаще всего люди гибнут на пожарах из-за взрывов топливовоздушных смесей (ТВС), пылевоздушных смесей (ПВС), газоздушных смесей (ГВС), а также из-за отсутствия или загромождения путей эвакуации, а иногда и из-за удушья. Число жертв увеличивается при применении быстрогорящих материалов и материалов, выделяющих токсические соединения. Не менее опасно воздействие на живые организмы вредных веществ, уровни (концентрации) которых в окружающей среде превышают предельно допустимые значения [1–5].

Появилось понятие «экологическое мышление». Однако разрушение природы человеком продолжается и становится все интенсивнее. И все это оправдывается объективными причинами: нехваткой денежных и материальных средств на проведение мероприятий по обеспечению требований экологии (строительство очистных сооружений, внедрение современных природоохранных технологий); ресурсов; отсутствием проектов, прошедших эффективную экспертизу. Чтобы затормозить стремительный процесс разрушения окружающей природной среды, необходим строжайший экологический контроль, независимая и всесторонняя экологическая экспертиза, внедрение современных безопасных природоохранных технологий. Необходимо решительно вводить экологическое образование для широкого круга чиновников, контролировать расстановку обученных кадров и обеспечить просвещение населения в вопросах грамотного природопользования.

Основные принципы проведения экологической экспертизы: широкая гласность, участие общественности. Уполномоченным органом в решении данного вопроса является Государственный комитет по экологии и охране окружающей среды и его территориальные органы. Во исполнение «Закона об охране природы» (9 декабря 1992 г. № 754-ХІІ)

и «Законодательством в области проведения государственной экологической экспертизы» (25 мая 2000 г. № 73-II), а также Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан за №949 от 22.11.2018 года «Об утверждении Положения о государственной экологической экспертизе в Республике Узбекистан» с приложением №1 к Положению о государственной экологической экспертизе в Республике Узбекистан, регламентирующего проведение процедуры ОВОС (Оценка воздействия на окружающую среду), С приложением №2 от 22.11.2018 года «ПЕРЕЧЕНЬ видов деятельности, по которым осуществляется государственная экологическая экспертиза».

Согласно вышеназванным Законам Республики Узбекистан государственной экологической экспертизе подлежат все объекты и мероприятия, намеченные к реализации - независимо от их сметной стоимости и принадлежности. Полный перечень объектов, подлежащих государственной экологической экспертизе, дан в приложении.

Эти документы предусматривают ответственность за нарушение закона, призванного обеспечить право граждан на качественную природную среду, особенно в вопросах фальсификации заключения и сокрытия сведений о ведомственной заинтересованности в результатах экспертизы.

Чтобы в полном объеме и своевременно выполнить работы по ликвидации негативных последствий ЧС, необходимо заблаговременно и тщательно осуществить подготовку сил МЧС для действий в таких условиях, мониторинг природной среды, а также обеспечить соответствующие службы современным передвижным лабораторным и иным оборудованием для контроля за загрязнением атмосферы, почвы и водных ресурсов и за местами хранения токсичных отходов.

Трагические события последних лет все чаще указывают на то, что необходимо найти пути снижения риска возникновения и развития чрезвычайных ситуаций, смягчения и локализации их отрицательных последствий для людей и окружающей среды. Нам всем надо понять, что ради безопасной жизни на Земле остановить научно-технический прогресс (как того требуют некоторые радикально настроенные «зеленые») невозможно. Но преодолеть инерцию при решении экологических задач, найти компромисс между стремлением сохранить природу и подчинением узковедомственным и монопольным интересам - важнейшее направление на этом пути. Правильного решения можно добиться, проводя объективную и независимую экспертизу на стадии проектирования и строительства объектов и комплексов экономики, а также обеспечивая широкую гласность и участие населения региона в

окончательном принятии решения по данному вопросу. Но главное: необходимо обеспечить подготовку персонала, его морально-психологическую устойчивость, повышение производственной и технологической дисциплины; персональную ответственность каждого руководителя - независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности - за безопасность персонала, его техническую и специальную подготовку, способность умело и грамотно действовать в условиях ЧС, неукоснительное выполнение мер безопасности.

Чтобы снизить количество жертв, необходимо обеспечить максимально оперативные (с использованием вычислительной техники), единые на всю страну системы связи, управления и оповещения, а также постоянную готовность к работе унифицированного спасательного оборудования. Об этом говорит весь опыт проведения спасательных работ: 80% пострадавших удастся спасти лишь в первые 5 ч после катастрофы. Катастрофа на ЧАЭС принесла огромный ущерб, в ней погибло более 30 и получили серьезное лучевое поражение 200 человек, эвакуировано около 100 тыс. человек и почти 250 тыс. человек продолжают жить в зоне заражения.

На пожарах Узбекистана ежегодно теряет до 8,5 тыс. человек, и более 10 тыс. человек получают травмы. Большинство жертв на пожарах вызвано удушьем вследствие отсутствия или загромождения путей эвакуации. Количество жертв увеличивается при наличии быстрогорящих и выделяющих токсичные соединения материалов.

Велики потери на земном шаре и от стихийных бедствий. Количество погибших достигает 250 тыс. человек, а подвергающихся опасности – до 25 млн человек в год. Только от землетрясений в мире ежегодно погибает до 50 тыс. человек. Не менее опасно для человека повседневное превышение ПДУ (ПДК, ПДД) вредных веществ в окружающей среде и продуктах питания.

Следовательно, необходимо снижать воздействие вредных и опасных факторов на человека для обеспечения безопасности человека от действия техногенных, природных, экологических воздействий.

Литература

1. Домуладжанов, И.Х. Безопасность жизнедеятельности – как наука / И.Х. Домуладжанов, М.И.Латипова, Домуладжанова Ш.И. // Инженерия поверхности и реновация изделий: мат. 17-й Международ. науч.-техн. конф., 29 мая–2 июня 2017 г., г. Одесса. – К. : АТМ України, 2017. – С. 89–93.

2. Домуладжанов, И.Х. Безопасность жизнедеятельности – веление времени / И.Х. Домуладжанов, Ш.И. Домуладжанова, Ш.Ш. Содикова. // Мат. 17-й Международ. науч.-техн. семинар «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 20–24 февраля 2017 г., г. Свалява, Карпаты. – К.: АТМ України, 2017. – С. 122–123.

3. Домуладжанов, И.Х. Экология и охрана окружающей среды. Жилая застройка города Куvasая / И.Х. Домуладжанов, Ю.М. Холмиразев, А.М. Тешабаев, В.Г. Бояринова // *Universum: технические науки*. – 2020. – № 4(73). – С. 5–9.

4. Домуладжанов, И.Х. Выбор места строительства промышленного объекта с учетом климатических условий города Куvasая / *Universum: технические науки*. – 2020. – № 4(73). – С. 15–17.

5. Домуладжанов, И.Х. Нормативы предельно – допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу от Куvasайского подсобного предприятия железобетонных изделий / *Universum: технические науки*. – 2020. – № 4(73). – С. 18–25.

*Ермишкин В.А., Минина Н.А., Кириллова В.М.,
Сдобырев В.В., Палий Н.А.* Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОЛИБДЕНОВЫХ СПЛАВОВ С ВАНАДИЕМ

Эффект влияния легирующих элементов на физические свойства сплавов оценивается по данным изучения конкретных свойств на макроскопических образцах серии сплавов, легированных соответствующими химическими элементами, что связано с выполнением обширной программы механических испытаний серии опытных сплавов, отличающихся концентрацией легирующих элементов и требует немалых затрат времени и средств. В литературе известны попытки оценить эффекты влияния структурных составляющих сплавов посредством анализа их вкладов в элементарные механизмы упрочнения, формирующих механические характеристики в значения пределов текучести сплавов и предела текучести [1]. Эти попытки выразились в представление предела текучести исследуемых сплавов в виде суммы упрочняющих эффектов от отдельных задействованных механизмов упрочнения.

Экспериментальная часть работы была выполнена на модельных сплавах системы Мо-V с содержанием ванадия 2, 3 и 4%, полученных с помощью электродуговой плавки. Механические характеристики исследованных сплавов были получены при испытаниях на универсальной испытательной машине Инстрон-3382 в условиях сжатия со скоростью 1 мм/мин. На рис. 1, а показана типичная кривая деформирования образцов сплавов системы Мо-V. Полученные кривые деформирования были преобразованы в кривые растяжения. Доли поверхности, приходящиеся на структурные составляющие исследованных сплавов, определяли по данным фотометрического анализа структурных изображений (ФАСИ) [2]. ФАСИ представляет собой программно – аналитическую систему, построенную на принципе сравнения по дифференциальной схеме выделенного фрагмента поверхности эталонного образца и равно-размерного фрагмента поверхности исследуемого образца. В качестве эталона был принят образец чистого молибдена так же подвергнутого испытаниям на сжатие. Спектр яркости отражения от поверхности материала формируется в результате отражения фотонов видимого света на электронах. Любые химические (атомы легирующих и примесных элементов и их скопления, выделения фазовых составляющих) или физические (дефекты кристаллической решетки, границы зерен и субзерен) неоднородности материалов меняют плотность электронных состояний и меняют условия отражения света на поверхности исследуемых объектов и ФАСИ позволяет зафиксировать спектр яркости отражения с учетом тех изменений, которые вносят в него структурные неоднородности. По существу, ФАСИ является анализатором условий отражения видимого света на поверхности исследуемых объектов. С его помощью определяли количество структурных составляющих сплавов. На рис. 1, б показан пример выделения интервалов, соответствующих разным структурным составляющим для сплава Мо-3%V.

Из рис. 2 видно, что при качественном сходстве изображений фрагментов разных сплавов изучаемой системы между ними существуют количественные различия, которые вызваны различиями в их химических составах, поскольку различия в технологии их получения и обработки отсутствовали. Общий фон поверхности сформировался в результате отражения света твердого раствора ванадия в молибдене, а прочие образования возникли в результате отражения света на химических и физических неоднородностях, изменивших локальные условия отражения света, которые зафиксировались в спектре. Данные о долях поверхности фрагментов, которые занимают соответствующие струк-

турные составляющие сплавов, выводятся в ФАСИ либо в виде таблиц, либо в виде гистограмм. Для оценки парциальных пределов прочности структурных составляющих исследованных сплавов системы Mo-V (σ) мы воспользовались уравнением $\sigma_k = \sum_{i=1}^n \sigma_i V_i$, которое после подстановки в него данных для 4 фрагментов каждого из сплавов изучаемой системы образовывали системы линейных уравнений вида:

$$S_{11}\sigma_1 + S_{12}\sigma_2 + S_{13}\sigma_3 + \dots + S_{1n-1}\sigma_{n-1} + S_{1n}\sigma_n = \sigma_c$$

$$S_{21}\sigma_1 + S_{22}\sigma_2 + S_{23}\sigma_3 + \dots + S_{2n-1}\sigma_{n-1} + S_{2n}\sigma_n = \sigma_c$$

$$S_{31}\sigma_1 + S_{32}\sigma_2 + S_{33}\sigma_3 + \dots + S_{3n-1}\sigma_{n-1} + S_{3n}\sigma_n = \sigma_c$$

$$\dots\dots\dots$$

$$S_{n1}\sigma_1 + S_{n2}\sigma_2 + S_{n3}\sigma_3 + \dots + S_{n-1n}\sigma_{n-1} + S_{nn}\sigma_n = \sigma_c$$

где S_{ij} – доли структурных составляющих соответствующих сплавов, σ_c – интегральная характеристика прочности соответствующего сплава. В нашем случае это был предел прочности σ_b . Система уравнений имеет единственное решение при условии, что число неизвестных в нем совпадает с числом уравнений в системе. Системы уравнений были решены для всех трех изучаемых сплавов системы Mo-V, со средне квадратичным отклонением менее 1%. По результатам решения этих систем были построены концентрационные зависимости парциальных пределов прочности структурных составляющих исследованных сплавов. Эти результаты показаны на рис. 3.

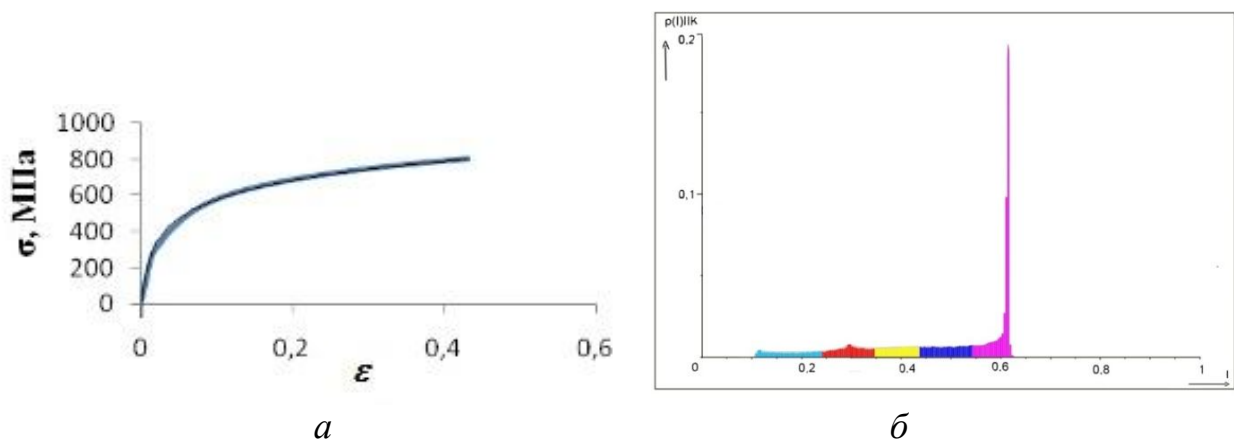


Рис. 1 –Кривая растяжения для образца Mo-2%V в истинных координатах (а) и спектр яркости отражения видимого света от поверхности образца сплава Mo-3%V (б)

Представленные зависимости свидетельствуют о том, что одни и те же структурные составляющие в зависимости от структурных неоднородностей на поверхности объектов, вносимых легированием, могут играть как роль упрочнителей, так и способствовать разупрочнению. Необходимо отметить, что развиваемый композиционный подход получил подтверждение ранее на сплавах системы Mo-Re и алюминиевом

сплаве В95 [3]. Разработанный метод может быть применен для оценки парциальных механических характеристик структурных составляющих многокомпонентных сплавов.

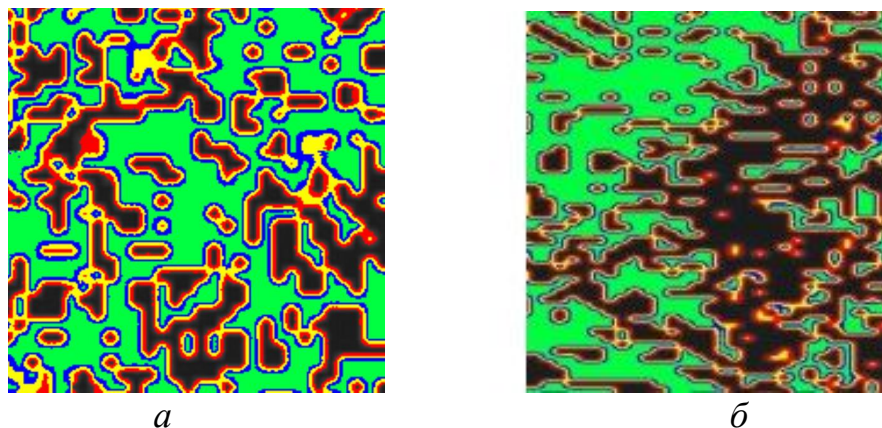


Рис. 2 – Типичные изображения фрагментов для оценки долей структурных составляющих сплавов: *а* – Mo-2%V, *б* – Mo-3%V, $\times 150$

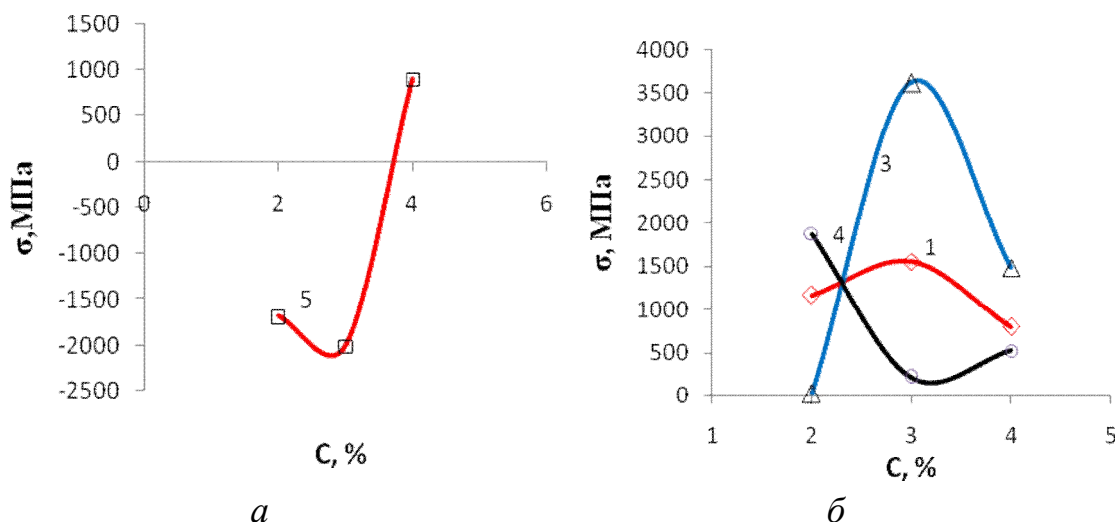


Рис. 3 – Концентрационные зависимости парциальных пределов прочности структурных составляющих сплавов системы Mo-V:

а – для интервалов 1, 3, 4; *б* – для интервала 5

Выводы:

1. На основе композиционного подхода разработан метод определения парциальных механических характеристик структурных составляющих сплавов системы Mo-V.

2. Коэффициенты в системах линейных уравнений, описывающих интегральные механические характеристики многокомпонентных сплавов, определяются непосредственными измерениями и методом ФАСИ.

3. На поверхности фрагментов исследованных образцов методом ФАСИ выявлены структурные особенности с размерами 0,1-0,01 мм, происхождение которых, по-видимому, связано с локальными структурными неоднородностями химической природы.

4. Разработанный метод открывает возможность измерения локальных напряжений по данным измерений интенсивности отражения видимого света с помощью ФАСИ.

Литература

1. Orovan, E. Dislocations in Metals / E. Orovan. – New York, AIME, 1954.

2. Ермишкин, В.А. Информационные технологии фотометрического анализа усталостного повреждаемости материалов / В.А. Ермишкин, Д.П. Мурат, В.В. Подбельский // Информационные технологии. – 2007. – №11. – С. 65–70.

3. Ермишкин, В.А. Роль структурных факторов в формировании механических характеристик материалов / В.А. Ермишкин, Ю.Б. Соловьева // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2019. – Т.16. – №1.

Работа выполнялась по государственному заданию № 075-00947-20-00 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а)

Зинькевич Н.В., Ланцман Г.А., Крень А.П.
Институт прикладной физики НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

ЭКСПРЕСС ОЦЕНКА ТВЕРДОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИБОРОМ ТПЦ-ФЛЕКС

Сегодня во многих отраслях промышленности, в строительстве, машиностроении применяются изделия с ограниченной жесткостью (податливые тонкостенные конструкции). К таким изделиям можно отнести тонкостенные трубы, цистерны, фермы, элементы грузоподъемных кранов и др. Одним из наиболее распространенных методов оценки физико-механических характеристик металла при техническом диагностировании является определение твердости по шкалам Бринелля, Роквелла и Виккерса. Существующие портативные твердомеры обладают рядом недостатков. Для применения динамических твердомеров необходимо, чтобы масса изделия была не менее 1,5 кг, а толщина –

10 мм [1]. Для ультразвуковых приборов критичным становится подготовка поверхности и зернистость структуры.

В ИПФ НАН Беларуси разработан новый прибор, использующий динамический принцип измерения твердости [2, 3], отличительной особенностью которого является возможность регистрации всего процесса взаимодействия индентора-бойка с материалом: от начала касания индентором поверхности изделия до выхода из ударного контакта. Это позволяет измерять не только $V_{\max}$ – скорость в момент соударения и $V_{\min}$ – скорость после отскока индентора, а построить кривую контактное усилие P – глубина внедрения h (рис. 1).

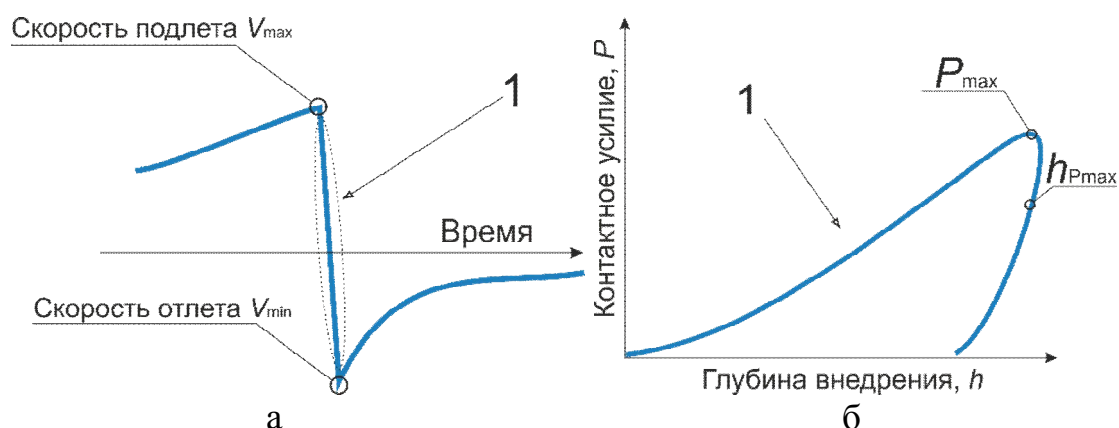


Рис. 1 – Диаграммы: а – скорости индентора от времени; б – изменения контактного усилия при глубине внедрения индентора

Прибор ТПЦ-ФЛЕКС (рис. 2) позволяет проводить анализ диаграммы внедрения, используя расчётную корректировочную функцию, оперативно и достоверно рассчитывать твердость металлоконструкций с толщиной более 3 мм.



Рис. 2 – Портативный прибор ТПЦ-ФЛЕКС

Результаты, полученные твердомером ТПЦ-ФЛЕКС, подтвердили возможность оперативного и достоверного определения твердости данным прибором на образцах в виде консольно закрепленных металличе-

ских пластин и тонкостенных труб. Абсолютная погрешность измерений твердости труб не превысила 10 единиц НВ, а пластин – 13 НВ.

Было подтверждено, что применение динамических твердомеров, реализующих метод отскока по Леебу, для конструкций с ограниченной жесткостью (толщиной менее 10 мм), которые невозможно притереть на консистентную смазку к массивному основанию невозможно. В то время как портативный твердомер ТПЦ-ФЛЕКС, реализующий разработанные в Институте прикладной физики НАН Беларуси методики и алгоритмы, позволяет проводить неразрушающий контроль непосредственно конструкций типа труб, цистерн, сосудов высокого давления, а также пластин, балочных элементов ферм с толщиной более 3 мм без предварительных градуировок и дополнительных данных об исследуемой конструкции.

Литература

1. Лееб, Д. К определению характеристик твердости материала «L» по динамическому методу измерений «Eqoutip» / Д. Лееб // *Vorichte.* – 1986. – V. 1. – № 583.
2. Рудницкий, В.А. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов /В.А. Рудницкий, А.В. Рабцевич // *Дефектоскопия* – 1997. – № 4. – С. 79–86.
3. Крень, А.П. Моделирование ударного контакта индентора с нежесткими стальными конструкциями при измерении твердости / А.П. Крень, В.А. Рудницкий, Н.В. Зинькевич // *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук.* – 2017. – №4. – С. 38–45.

*Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Логінова О.Б.,
Смоквина В.В., Зайцева І.М. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИСОКОМІЦНИХ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ ІЗ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ ДЛЯ ОСНАЩЕННЯ ПРАВЛЯЧОГО АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ

На сучасному етапі розвитку прогресивних технологій обробки деталей машин широко застосовуються правлячі ролики, оснащені шліфпорошками синтетичного алмазу. Працездатність правлячого інструменту багато в чому залежить від якості застосовуваних алмазів. Розширення областей застосування нових видів правлячого інструменту призвело до використання високоміцних синтетичних алмазів.

Тому темою даної роботи було вивчення зміни фізико-механічних характеристик шліфпорошків синтетичних алмазів марок АС80–АС300, отриманих із застосуванням феросплавів в якості розчинників вуглецю.

Дослідження проводили на алмазах, отриманих в системах Fe–Cr–C, Fe–Ni–C, Fe–Co–C, Ni–Mn–C, зернистостей від 630/500 до 250/200, марок АС100 і вище. У порошках вихідних і після розподілу їх за вмістом в них внутрішньокристалічних металевих домішок, а також за ступенем дефектності їх поверхні оцінювали фізико-механічні характеристики: міцність у вигляді руйнівного навантаження при статичному навантаженні, термостабільність.

В результаті експериментів встановлено, що міцність кристалів алмазів високоміцних порошків, синтезованих в системах Fe–Cr–C, Fe–Ni–C, Fe–Co–C, як в інертному середовищі, так і повітряному знижується з підвищенням температури термічної обробки. Зниження міцності кристалів алмазу тим інтенсивніше, чим вище в них вміст домішок і включень. Показано, що розподіл шліфпорошків за вмістом в них внутрішньокристалічних металевих домішок за допомогою магнітної сепарації призводить до збільшення термостабільності порошків не менше ніж на 20%.

При розподілі шліфпорошків алмазу, синтезованих із застосуванням феросплавів, за дефектністю їх поверхні отримані порошки, що розрізняються між собою за міцністю та за високою однорідністю за міцністю.

На підставі проведених експериментів розроблена технологія отримання елітних шліфпорошків однорідних за міцністю ($K_{одн.міц}$), лінійними розмірами ($K_{одн.л.р}$) та з високою термостабільністю ($K_{ТС}$), а для оцінки якості елітних порошків розроблені технічні умови "Шліфпорошки з синтетичних алмазів елітні для оснащення алмазного інструменту". Значення оціночних показників наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення оціночних показників шліфпорошків

Зернистість, мкм	$K_{одн. міц.}$, %, більше		$K_{ТС}$, %, більше		$K_{одн. л.р.}$, %, не менше	
	АС50 – АС100	АС125 – АС400	АС50 – АС100	АС125 – АС400	АС50 – АС100	АС125 – АС400
800/630– 500/400	50	60	70	70	70	70
400/315– 250/200		65		80		75
200/160– 125/100						

*Искендерзаде Э.Б., Лысенко В.Г., Ахмедли Ш.В.,
Исламова У.Р., Алиева Л.С. Азербайджанский
технический университет, Баку, Азербайджан
Всероссийский научно-исследовательский
институт метрологической службы, Москва, Россия*

РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА СЛИЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНОГО ЭТАЛОНА ДЛЯ КООРДИНАТНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Статья посвящена разработке нового метода сличения национальных эталонов в области координатных измерений геометрических параметров поверхностей с использованием двумерных эталонов длины мер координатных типа ball-bar позволяет повысить достоверность измерений, выявить возможные причины некорректных измерений и тем самым, способствовать совершенствованию методов измерений и характеристик национальных эталонов.

Сличение национальных эталонов в области координатных измерений геометрических параметров поверхностей с использованием двумерных эталонов длины мер координатных типа ball-bar позволяет повысить достоверность измерений, выявить возможные причины некорректных измерений и тем самым, способствовать совершенствованию методов измерений и характеристик национальных эталонов.

Сличения проводятся с целью определения измерительных возможностей участвующих НМИ в области координатных измерений геометрических параметров поверхностей а также публикации СМС-строк по 5.4 Классификатора «Coordinate Measuring Machine (CMM) artefacts»:

- 5.4.2 Ball bar: ball spacing.
- и 5.5 Классификатора «Two-dimension and three-dimension instruments»:
- 5.5.3 Coordinate Measuring Machine (CMM): error of indicated size, location or shape.

В ходе сличений сравниваются измерительные возможности эталонов НМИ – стран, участвующих в сличениях.

Каждая лаборатория получит эталон сравнения в соответствии с заранее согласованным графиком.

Все результаты должны быть переданы непосредственно в лабораторию-пилот как можно скорее и, конечно же, в течение 4 недель после завершения измерений каждой лабораторией.

Каждая лаборатория имеет восемь недель для таможенного оформления (если применимо), измерения и отгрузки следующему участнику с момента его получения на таможне в своей стране до получения его следующим участником на таможне. Согласованием графика каждая лаборатория подтвердила, что она способна выполнить измерения в отведенное ей время. Она гарантирует, что эталон прибудет в страну следующего участника в начале следующего 8-недельного периода.

Если по каким-то причинам измерительная установка не готова, лаборатория должна немедленно связаться с лабораторией-пилотом и согласно достигнутой договоренности в конечном итоге отправить эталон непосредственно следующему участнику до завершения измерений или даже без проведения каких-либо измерений. Если это будет возможно, то в конце сличения в эту лабораторию будет направлен эталон

При получении эталона лаборатория должна выслать в лабораторию-пилот, а также в лабораторию-отправитель, по электронной по спецформе. Эталон сравнения должен быть проверен сразу же после его получения. В бланке также должно быть описано состояние эталона сравнения.

Эталон сравнения должен быть доступен только для уполномоченных лиц и храниться таким образом, чтобы предотвратить его повреждение. Эталон сравнения должен быть проверен перед отправкой, и любое изменение состояния во время измерения в каждой лаборатории должно быть сообщено в лабораторию-пилот. Крайне важно, чтобы эталон сравнения перевозился таким образом, чтобы он не был утерян, поврежден или обработан посторонними лицами.

Эталон сравнения будет отправлен в специальном транспортном кейсе для защиты эталона сравнения от деформации или повреждения во время транспортировки. Эталон сравнения должен быть отправлен через курьера или компанию доставки, а упаковка должна быть маркирована как "хрупкое". Эталон сравнения должен быть отправлен с достаточным запасом по времени, чтобы следующая лаборатория получила его в ближайшем порту или аэропорту в день начала их периода измерений.

Транспортировка и страхование эталона – ответственность и стоимость каждой лаборатории-участника. Каждая участвующая лаборатория покрывает расходы на свои собственные измерения, транспортировку и любые таможенные сборы при получении, а также за любые убытки, которые могут возникнуть в пределах ее страны. Общие расходы по организации покрываются за счет организующей лаборатории-пилота. Эталон сравнения – мера координатная типа *ball bar* представлена на рис. 1. Основные технические характеристики меры *ball bar* приведены в табл. 1.



**Рис. 1 – Эталон сравнения – мера координатная типа ball-bar
в транспортировочном кейсе**

Таблица 1 – Технические характеристики меры *ball bar*

Номинальное значение расстояния L между центрами сфер, мм	Номинальное значение диаметров сфер, мм	Температурный коэффициент линейного расширения сфер (ТКЛР) 10^{-6} K^{-1}	Производитель
400	30	5,5	Kolb & Baumann GmbH & Co. KG

Измерения длины должны быть независимо прослежены до последней реализации *mètre*, изложенной в нынешней "Mise en Pratique". Измерения температуры проводятся с использованием международной шкалы температур 1990 года (ITS-90).

Нижеследующие измеряемые величины должны оцениваться в соответствии с:

- ГОСТ Р ИСО 10360-2: 2017 «Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, применяемые для измерения линейных».
- ISO / TS 23165: 2006 Geometric product specifications (GPS) – руководство по оценке неопределенности измерений координатно-измерительной машины (КИМ).
- диаметр сферы 1, мм;
- отклонение формы сферы 1, мм;
- диаметр сферы 0, мм;
- отклонение формы сферы 0, мм;
- расстояние L от центра сферы 1 до центра сферы 0, мм.

Каждая лаборатория может свободно использовать свой собственный метод измерения. Однако пользователям настоятельно рекомендуется следовать процедуре измерения, приведенной в этом разделе. Пе-

ред измерением эталон сравнения должен быть проверен на наличие повреждений. Любые царапины или другие повреждения должны быть задокументированы.

Перед измерением необходимо очистить эталон сравнения. Измерительные поверхности должны быть очищены с особой тщательностью.

Никакие другие измерения не должны предприниматься участниками, и эталон сравнения не должен использоваться для каких-либо иных целей, кроме, описанных в настоящем документе. Эталон сравнения не может быть передан какой-либо другой стороне, кроме участников сравнения.

Если по какой-либо причине лаборатория не в состоянии выполнить все измерения, то ей все равно рекомендуется сообщить о полученных результатах.

Измерения должны выполняться в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха составляет $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха составляет от 40 до 70%;
- длина зонда 60 мм, диаметр зонда 8 мм, конфигурация $\pm Y$;
- необходимо использовать стандартное измерительное усилие.

Учитывая, что в сличениях участвуют КИМ различных производителей, каждая лаборатория может применять свою процедуру. Общим для измерительных процедур всех лабораторий являются этапы измерения измеряемых величин: диаметра сферы "1". (Измерить 10 раз, вычислить среднее арифметическое, записать в таблицу). То же со сферой "0".

Измерить расстояние L между центрами сфер 10 раз. Занести значения в таблицу.

1. Используя щуп Y , необходимо измерить окружность в вертикальном сечении. В стратегии измерений необходимо выбрать измерение по 11 точкам на 190° , далее сделать матрицу под углом 55° – 3 раза и провести измерения.

2. Используя щуп Y , необходимо измерить сферу в вертикальном сечении. В стратегии измерений выбрать 3 линии окружности, 1 линия окружности: установить скорость 15, длина шага 5, количество точек 11, обязательно отметить, что измерения проводятся отдельными точками. В подменю базовые установки выбрать направление $+X$, стартовый угол 85° , угол раскрытия 190° . Стартовая и целевая высота 0. В подменю оси выбрать X 0,7071; Y 0,000; Z 0,7071. 2 линия окружности: установить скорость 15, длина шага 5, количество точек 11, обязательно отметить, что измерения проводятся отдельными точками. В подменю базовые установки выбрать направление $+Z$, стартовый угол 5° , угол раскрытия –

190°. Стартовая и целевая высота 0. В подменю оси выбрать X 0,7071; Y 0,000; Z 0,7071. 3 линия окружности: установить скорость 15, длина шага 5, количество точек 11, обязательно отметить, что измерения проводятся отдельными точками. В подменю базовые установки выбрать направление +X, стартовый угол 85°, угол раскрытия 190°. Стартовая и целевая высота 0. В подменю оси выбрать X 0,9999; Y 0,000; Z 0,0111.

3. Измерение сферы 0 проводится аналогично с использованием щупа-Y.

4. Используя программное обеспечение КИМ, необходимо определить диаметр сферы 1 и сферы 0, расстояние между центрами сфер, отклонение формы сферы 1 и сферы 0.

5. Измерения повторить 10 раз.

6. Рассчитать неопределенность измерений по типу A, B и расширенную неопределенность для расстояния между центрами сфер, диаметров сфер и отклонения формы сфер.

Неопределенность измерений должна оцениваться в соответствии с руководством ИСО по выражению неопределенности измерений [3]. Из-за различий в оборудовании, методах и процедурах, применяемых между лабораториями, полный перечень источников неопределенности, подлежащих учету, может быть не составлен.

Результаты должны быть сообщены в лабораторию-пилот как можно скорее и в течение четырех недель после окончания соответствующего лабораторного отведенного периода времени.

Данные измерений заполняется с указанием состояния эталона сравнения, описывающего измерительный прибор, методику измерения, цепочку прослеживаемости, изменение температуры и метод измерения температуры.

Результаты измерений эталона сравнения должно быть заполнено результатами измерений и неопределенностью. Неопределенность должна быть заявлена как суммарная стандартная, в конце которой не применяется коэффициент охвата и расширенная с указанием коэффициента охвата ($k = 2$).

Эти три формы должны быть заполнены и отправлены по почте, а также по электронной почте в лабораторию-пилот. Более поздний способ заключается в том, чтобы позволить лаборатории-пилоту собрать результаты как можно скорее. В любом случае подписанный отчет также должен быть отправлен в бумажном виде. В случае каких-либо различий между этими двумя сообщениями бумажные формы считаются действительными.

После получения всех отчетов об измерениях от участвующих лабораторий, лаборатория-пилот проанализирует полученные результаты и подготовит первый проект отчета о сравнении, отчет А. Этот документ будет распространен среди участников для получения замечаний, дополнений и исправлений. Впоследствии будет соблюдаться процедура, изложенная в руководстве по сличению ВІРМ.

Литература

1. KOOMET R/GM/11: 2017. Рекомендация KOOMET. Положение о сличении эталонов национальных метрологических институтов KOOMET.

2. JCGM 100:2008. Оценка данных измерений-руководство по выражению неопределенности в измерениях (ГУМ) – руководство по оценке неопределенности измерений .

3. ГОСТ Р ИСО 10360-2: 2017 «Характеристики изделий геометрические. Приемочные и перепроверочные испытания координатно-измерительных машин. Координатно-измерительные машины, применяемые для измерения линейных».

Клименко С.А., Манохін А.С., Клименко С.Ан.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН В ПОКРИТТІ MoN/CrN НА ІНСТРУМЕНТІ З PcBN

Згідно стандарту ISO 1832-2012, однієї з груп композитів на основі кубічного нітриду бору є група ВС – PcBN з покриттям.

Для визначення експлуатаційних можливостей різальних інструментів, оснащених такими композитами, важливе значення має уявлення щодо напружено-деформованого стану в покритті.

Для визначення напружено-деформованого стану в покритті оцінимо навантаження, яке діє на інструмент в умовах чистового безударного точіння ($S = 0,1$ мм/об, $t = 0,2$ мм, $v = 1,2$ м/с) загартованої до 60 HRC сталі ШХ15 різцем, що оснащений платиною RNUN070300 з композиту PcBN марки «Борсиніт». PVD покриття – MoN/CrN. Максимальні значення дотичних та нормальних напружень на контактних ділянках $q_n = 2000$ МПа та $q_f = 800$ МПа, відповідно [1].

При розрахунках еквівалентної напруги скористаємося виразами, запропонованим Лебедєвим та Писаренко:

$$\frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \chi \cdot \tau_{\text{окт}} + (1 - \chi) \cdot \sigma_1 \leq \sigma^0, \quad (1)$$

де $\tau_{\text{окт}}$ – октаедричне напруження, яке розраховується як:

$$\tau_{\text{окт}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (2)$$

а параметр χ , що характеризує властивість матеріалу чинить опір навантаженням, що стискають та розтягують, визначається як

$$\chi = \frac{\sigma^0}{\sigma_-^0}. \quad (3)$$

Для композиту «Борсиніт» $\chi = 0,25-0,38$, а границі міцності під час розтягуванні та стиску 870 та 2900 МПа, відповідно.

Граничні умови для плоскої задачі:

$$q_n(x) = p \left(1 - \frac{x_i}{l_c} \right)^\xi, \quad (4)$$

де p – максимальне значення q_n , l_c – сумарна довжина ділянки пружньо-пластичного контакту на передній поверхні $\xi = 3,1$.

$$\tau(x) = \begin{cases} q_f, & 0 \leq x \leq l_c / 2 \\ 2q_f(-x/l_c + 1), & l_c / 2 \leq x \leq l_c \end{cases}, \quad (5)$$

де q_f – максимальне значення питомої сили тертя.

Максимальні значення контактних напружень визначимо, з огляду на епюру їхнього розподілу уздовж передньої поверхні інструмента:

$$p = \frac{\sigma_{\text{Ncp}} \cdot L_1}{\int_0^L \left(1 - \frac{x}{L} \right)^n dx}, \quad (6)$$

де L_1 – одинична довжина, $n = 3,1$, звідки $p = 4,1qN_{cb}$.

З урахуванням виду епюри розподілу тангенціальних контактних напружень:

$$q_F = \frac{4}{3} \cdot q_{Fcp}. \quad (7)$$

Приймаючи, що розподіл навантажень на контактних поверхнях має вигляд епюр, які обумовлені виразами (4–7), можна задати граничні умови та розрахувати напружено-деформований стан в інструменті з покриттям методом кінцевих елементів у відповідності зі схемою на рис. 1.

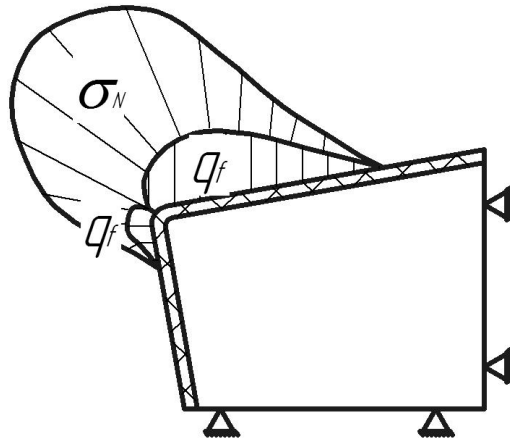


Рис. 1 – Схема навантаження моделі різця з покриттям

Визначення характеристик міцності, і відповідно, параметра χ для покриттів виявляє значну складність. З огляду на те, що покриття відносяться до досить крихких матеріалів, прийmemo за нижню оцінку параметра χ величину 0,1, що, при заданих умовах, забезпечить можливість одержати верхню оцінку значень еквівалентних напруг у покритті. Значення еквівалентних та дотичних напружень, що розраховані для зазначеного вище навантаження на інструмент з покриттям представлені на рис. 2. Модуль Юнга Пуассона для покриття 560 ГПа.

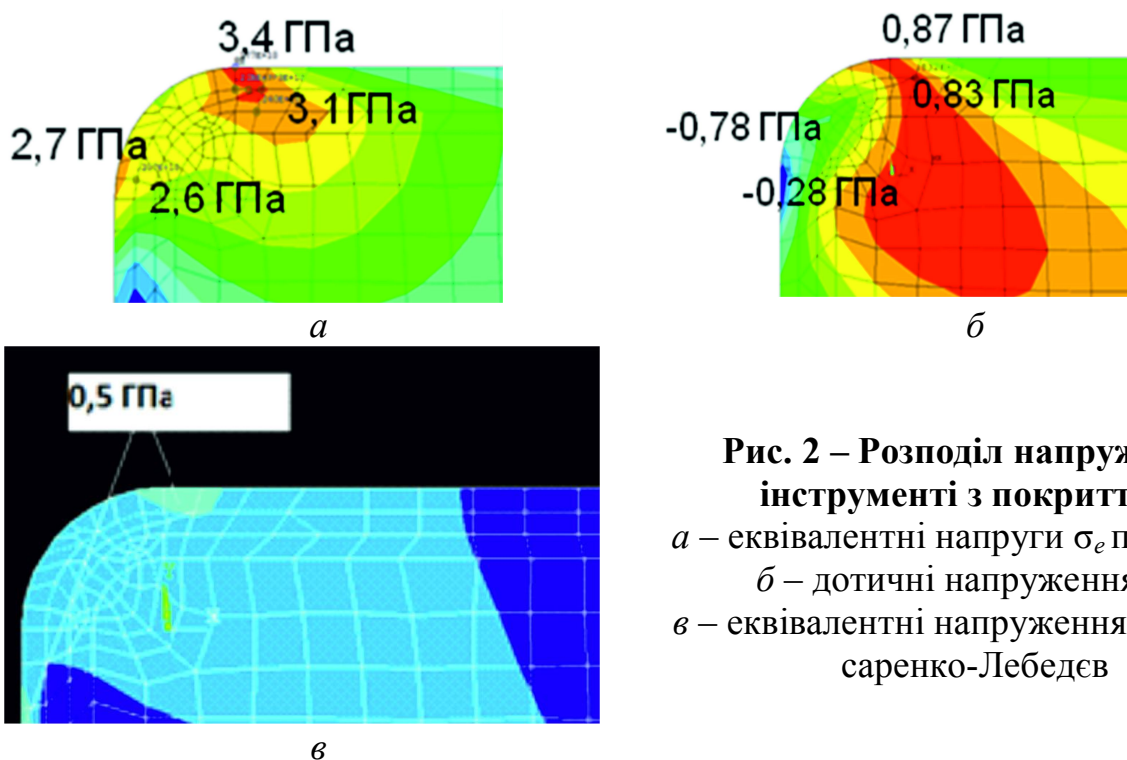


Рис. 2 – Розподіл напружень в інструменті з покриттям:
 а – еквівалентні напруги σ_e по Мізесу;
 б – дотичні напруження τ_{xy} ;
 в – еквівалентні напруження σ_i по Писаренко-Лебедев

Аналіз показує, що в найбільш небезпечних точках з боку передньої та задньої поверхонь значення еквівалентних напруг по Мізесу в покритті досягає значень 3,4 та 2,7 ГПа, а дотичних – 0,87 та 0,78 ГПа,

відповідно. Еквівалентні напруги по Писаренко-Лебедеву дорівнюють 0,5 ГПа.

Отримані дані можна використати для порівняння зі значеннями напружень, що діють у покритті в момент його руйнування при скретч-тестуванні. Зусилля на інденторі доцільно визначати в діапазоні глибин проникнення, відповідно руйнуванню покриття до початку його адгезійного відшарування від основи.

Дослідження проводили на приладі «Мікрон-гамма» при поступовому проникненні індентора (піраміда Віккерса) з наростаючим від 0 до 120 сН навантаженням та з поверненням індентора у зворотне положення на довжині траси сканування 455 мкм. У точці, що відповідає 3 мкм глибини проникнення індентора нормальне навантаження становило $P = 0,57$ Н, а тангенціальне навантаження в напрямку переміщення – $P_x = 0,25$ Н.

Схема проникнення індентора, використана для розрахунку контактних напружень на його поверхні, представлена на рис. 3, а.

Розрахунок напружено деформованого стану в покритті проводили в процесі рішення 2-D завдання методом кінцевих елементів. Результат визначення еквівалентних напруг по Писаренко-Лебедеву представлений на рис. 3, б. В області, що прилягає до грані індентора значення напружень становило 0,53 ГПа, а в зоні у вершини індентора, де існує ймовірне утворення тріщини – 0,9–1,3 ГПа.

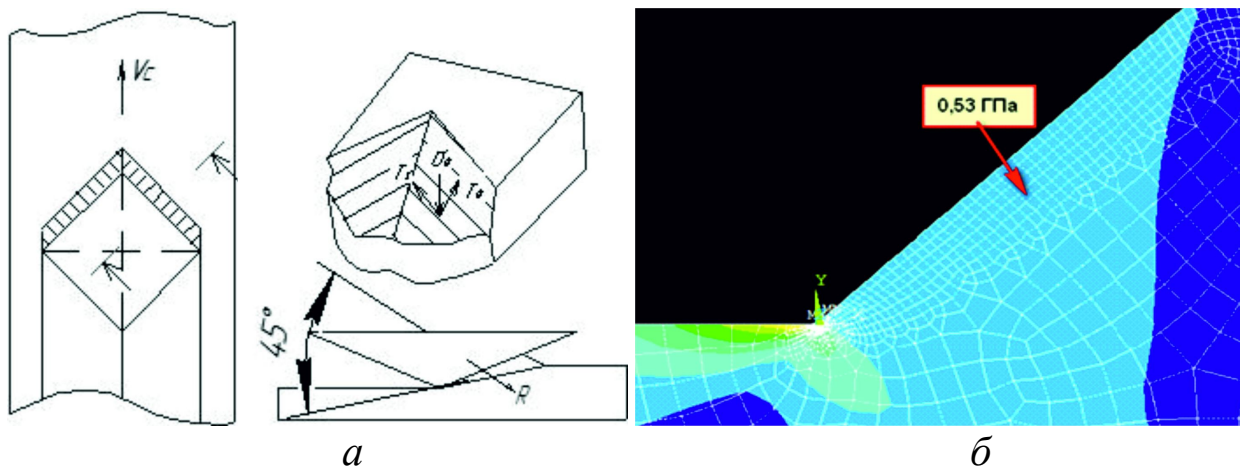


Рис. 3 – Схема проникнення індентора (а), напруження в покритті MoN/CrN (б) при скретч-тестуванні

Приймемо за напруження, при якому відбувається руйнування, значення 0,53 ГПа. Еквівалентні напруження в матеріалі покриття по Писаренко-Лебедеву відповідають напруженням з навантаженням за схемою одноосового розтягу. Границя міцності на розтяг для покриття, відпові-

дно до розрахунку, буде $\sigma = 0,53$ ГПа, а границя міцності на стиск, з огляду на прийняте значення $\chi = 0,1$, досягає 5 ГПа. Порівнюючи розраховані вище значення еквівалентних напружень у покритті, що виникають при різанні гострим різцем із міцністю покриття, можна зробити висновок про наявність високої ймовірності когезійного руйнування покриття в зоні, що прилягає до різальної кромки в початковий момент часу.

Наведена вище методика може бути використана для оцінки руйнування широкої гами PVD покриттів на інструментах, оснащених композитами PcBN групи BC.

Література

1. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – 304 с.

Ковальов М.Ф., Головащук М.В. Національний транспортний університет, Київ,

Ніколайчук В.Я. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця,

Кулижський В.М., Лопата В.М. Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна

ЗНАЧЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДНОВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ ЯКОСТІ І РЕСУРСУ ВІДРЕМОНТОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Покриття, отримані електродуговим напиленням, з деяким припуском піддають механічній обробці (МО) [1–3]. Основними видами МО напилених покриттів є різання і шліфування [1, 3]. Для обробки покриттів використовують швидкорізальний і твердосплавний інструмент. Знання властивостей покриттів, отриманих електродуговим напиленням, дозволяє виконувати їх МО з мінімально можливими трудовитратами і отримати необхідну чистоту поверхні. Структурні особливості і фазовий склад покриттів обумовлюють вибір методів і режимів їх МО [1, 3]. Спосіб обробки напилених покриттів залежить від їх твердості. Покриття з твердістю 35–40 HRC можна обробляти на металорізальних верстатах

твердосплавним інструментом. Використання твердосплавного інструменту дає кращу чистоту обробленої поверхні.

Покриття з твердістю до 40 HRC обробляються різцями з швидко-різальних сталей на наступних режимах [1, 3]: подача $S = 0,05\text{--}0,25$ мм/об.; глибина $t = 0,1\text{--}0,4$ мм; швидкість різання $V = 20\text{--}30$ м/хв. Оптимальними геометричними параметрами різців є: передній кут $\gamma = 0\text{--}(-5^\circ)$; задній кут $\alpha = 6\text{--}8^\circ$; кут в плані $\phi = 30\text{--}90^\circ$; радіус при вершині $r = 0,1\text{--}0,2$ мм. При використанні різців з пластинами із твердих сплавів ВК2, ВК3, ВК4 і ВКБ режими обробки можуть бути жорсткішими: $V = 75\text{--}90$ м/хв. при подачі $S = 0,15$ мм/об. (попередня обробка); $V = 90\text{--}105$ м/хв. при подачі $S = 0,08$ мм/об. (чистова обробка). Режими МО покриттів, отриманих електродуговим напиленням, приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Режими механічної чергової обробки покриттів, отриманих електродуговим напиленням ($V = 40\text{--}60$ м/хв.)

Подача, S , мм/об.	Глибина різання, t , мм
0,06–0,10	0,10–0,30
0,06–0,08	0,06–0,10

Механічну обробку покриттів слід починати на буртиках і в кутах, з обточування потовщень, використовуючи для цього різці із закругленою різальною кромкою. У всіх випадках при токарній обробці різець повинен рухатися від покриття на необроблену ділянку, щоб уникнути підривання покриття. Напилені покриття при свердлінні, струганні, фрезеруванні і обробці напилком не можна піддавати навантаженням, що вигинають і розтягують, і навантаженням, що прагнуть відірвати покриття від основи. Якщо в деталі з покриттям треба просвердлити отвір, то він по можливості повинен починатися в основному металі. Для цього отвір в покритті необхідно роззенкувати під кутом 45° .

Обробка покриттів з твердістю > 40 HRC або чистова обробка покриттів здійснюється інструментом із гексаніта [1, 3]. Загальноприйнятим правилом при чистовому обточуванні покриттів є установка різця дещо вище за центр деталі, що дозволяє звести до мінімуму задній кут різця. Величина зміщення різця вище за центр деталі підбирається експериментально до отримання задовільної якості обробки. Для поліпшення чистоти обробленої поверхні обробку здійснюють із застосуванням емульсола [4].

Шліфування напилених покриттів здійснюється карборундовим або алмазним інструментом [1, 3]. Для шліфування карборундовим

інструментом використовуються круги КЗ зернистістю М25, М40 і твердістю СМ1-СТ1. Попереднє шліфування алмазним інструментом здійснюється кругами на металевих зв'язках МО16, МО13, МВ1 з алмазами АСКМ, АСК, АСВ зернистістю 250/200, 200/160. Для фінішної обробки використовують алмазні круги на органічній зв'язці Б1 з алмазами АСО зернистістю 40/28, 28/20. Режими круглого шліфування: швидкість круга 30–35 м/хв; швидкість деталі 25–32 м/хв; подовжня подача 1,0–1,5 м/хв; поперечна подача 0,006–0,150 мм/об. (0,015 – при попередньому шліфуванні; 0,006 – при чистовому). Режими плоского шліфування: швидкість круга 30–35 м/хв.; подовжня подача 18 м/хв.; поперечна подача 1,8 мм/об.; глибина шліфування 0,01 мм. Шліфування виконується при охолодженні. При шліфуванні використовують алмазні круги із зернистістю 147–27 мкм, глибина різання 2,5–12,5 мкм в умовах подачі круга при поперечному коливанні з амплітудою 1–2 мм, окружна швидкість круга 5–33 м/с. Чистову обробку поверхонь (не більше 0,2 мкм) здійснюють притиранням за допомогою алмазної пасти. Тиск притирання 0,14–0,175 МПа, швидкість руху притирання 30,5–91,5 [1, 3]. Структура і властивості поверхневого шару в результаті МО [1, 3] змінюються в середньому на глибину 0,1–0,7 мм. Структура в цьому випадку набуває спрямовану будову (текстуру), а твердість збільшується на 30–40%.

Окрім МО покриттів, отриманих електродуговим напиленням, застосовують хіміко-термічну (ХТО) і термо-механічну обробку (ТМО) [5–7]. Термічно оброблені сталі, що мають твердість 40–45 HRC, в процесі наклепання збільшують її на 5–10%. Шляхом об'ємної пластичної деформації можна підвищити модуль пружності матеріалу покриття [8]. Теплові і хімічні дії сприяють поширенню структурних перетворень углиб матеріалу відновлюваної поверхні.

Більшість способів обробки відновлених поверхонь з покриттями, отриманими електродуговим напиленням, мають відносно високі температури і тривалість обробки. Високі температури, як правило, негативно позначаються на "об'ємних" властивостях. Перевагою МТО є максимальна відтворюваність механічних властивостей покриттів [5–7]. Це пов'язано з тим, що МТО обробка відноситься до імпульсних технологій, тобто температура і тиск діють імпульсно і тривалість їх дії складає від 0,02 до 0,4 с [7]. Механо-термічна обробка покриттів, отриманих електродуговим напиленням, характеризується [5–7]: високою продуктивністю (0,01–0,015 м²/хв.), малою зоною термічного впливу на матеріал деталі (0,2–1,0 мм), відсутністю необхідності у використанні

захисних середовищ, можливістю отримання рівномірних шарів в діапазоні товщини від 0,5 до 4 мм, високою мірою автоматизації і сприятливим санітарно-гігієнічними умовами здійснення технологічного процесу [5–7]. Оптимальною можна рахувати швидкість обробки 0,014–0,02 м/с. Міцність зчеплення у вказаному діапазоні швидкостей складає 150–250 МПа [5–7]. МТО зменшує пористість покриттів покриттів, отриманих електродуговим методом,

Література

1. Клименко, С.А. Точение износостойких защитных покрытий / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. – К. : Техніка, 1997 – 146 с.
2. Кондратьев, В.А. Особенности назначения припуска на механическую обработку при восстановлении деталей / В.А. Кондратьев, М.В. Кондратьев // Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2005. – Вып. 3. – С. 132–134.
3. Кондратьев, В.А. Перспективные способы механической обработки восстанавливаемых деталей / В.А. Кондратьев, М.В. Кондратьев // Иновационные технологии и оборудование машиностроительного комплекса: Межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2005. – Вып.4. – С. 6–9.
4. Восстановлению деталей машин : справ. / под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
5. Капуткина, Л.М. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Уч. пособие для студ-ов вузов / Л.М. Капуткина, С.Д. Прокошкин, С.Л. Добаткин. – М. : Интермед Инжиниринг, 2004. – С. 220–240.
6. Кершенбаум, В.Я. Механо-термическое формирование поверхностей трения / В.Я. Кершенбаум. – М: Машиностроение, 1987. – 232 с.
7. Электроконтактное упрочнение как механотермической метод управления качеством поверхности // Материалы, технологии и оборудование для восстановления деталей машин: тематич. сб. – Мн. : УП «Технопринт», Новополоцк, ПГУ, 2003. – С. 252–254.
8. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением : справ / Ю.Г. Шнейдер. – С-Пб. : Политехника, 1998. – 414 с.

ПРОЯВЛЕНИЯ «ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА» В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Роль «человеческого фактора» в авиации рассматривается в первую очередь как важнейшее условие, влияющее на уровень и состояние безопасности полетов любого рода летательных аппаратов. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) определяет «человеческий фактор» как приоритетный в сфере обеспечения безопасности полетов. Но на надежность и безопасность полетов оказывают влияние также: качество подготовки авиационной техники к полету, качество изготовления, сборки, сдаточных и предполетных испытаний, качество конструирования летательных аппаратов, двигателей, качество разработки чертежей, сопутствующей технической и эксплуатационной документации. И везде, в проведении этих работ на качество конечного результата влияет «человеческий фактор» каждой группы занятых в работах специалистов.

В любой деятельности «человеческий фактор» проявляется ошибками, оплошностями и упущениями, или просчетами, которые допускает человек, выполняя свою работу. Ошибки могут возникать в результате выполнения преднамеренных действий. Оплошности и упущения – это ошибки на стадиях физического выполнения или неправильного исполнения последовательности действий, необходимых для достижения цели. Просчеты – это недостатки или небрежности в процессе постановки цели или при определении средств ее достижения независимо от точности выполнения или невыполнения действий.

Любая профессиональная деятельность, а особенно конструирование авиационной техники, представляет собой сложный процесс и требует глубоких знаний и переработки большого объема информации. Стадиями развития личности конструктора являются: приобретение умения – способность выполнять действия по заданным правилам (пока действие еще не достигло автоматизма); освоение навыков – выполнение действий, характеризующихся отсутствием поэлементного сознательного регулирования и контроля; овладение мастерством – способностью качественно выполнять работу на высшем уровне профессиональных умений. Однако, на всех этих стадиях роста профессионального мастерства «человеческий

фактор» в различных проявлениях оказывает отрицательное влияние на качество получаемого конечного результата.

Существенным проявлением «человеческого фактора» в процессе проектирования является забывание приобретенных знаний и навыков без периодического их повторения через определенные периоды времени. Подтверждением этому является анализ ошибок, выявляемых при нормоконтроле разработанной конструкторской документации (КД). Выявляемые при нормоконтроле ошибки фиксируются, доводятся до сведения руководителей конструкторских подразделений, где проводится разбор этих ошибок и, таким образом, происходит повторение информации о стандартных требованиях и ограничениях, которые составляют основу знаний конструкторов, необходимых при разработке КД на изделия. Не вдаваясь в разделение причин ошибок на собственно ошибки, оплошности и упущения, или просчеты, была проанализирована периодичность повторения однотипных ошибок, выявляемых при нормоконтроле. Результат анализа показан на рис. 1.

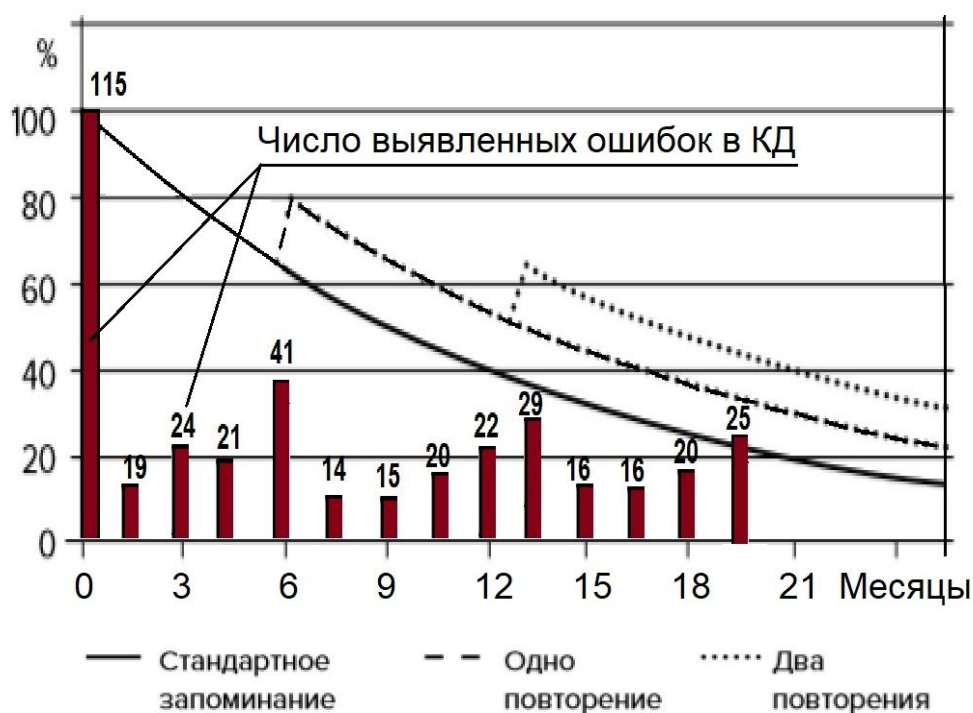


Рис. 1 – Ошибки конструкторов в результате забывания правил создания КД

Видно, что периодическое повышение количества выявляемых однотипных ошибок подтверждает теоретическое заключение о процессе забывания и корректировке знаний конструкторов путем повторения. На рис. 1 приведена диаграмма выявленных ошибок и графики теоретических кривых о забывании знаний. Периодический разбор ошибок

приводит к возобновлению необходимых знаний и повышению качества предъявляемой на нормоконтроль конструкторской документации, но «человеческий фактор» снова и снова вносит свои коррективы в процесс проектирования.

На стадии конструирования в системе «человек – машина (компьютер)» значительное влияние на «человеческий фактор» играет как раз компьютер, который берет на себя значительную часть общих знаний конструктора, которые в обыденной практике могут забываться без постоянного их повторения и применения. Наличие всевозможных электронных баз данных, которыми через компьютерную сеть предприятия могут пользоваться и конструктора-разработчики КД и все специалисты, которые ее согласовывают, существенно влияет на «человеческий фактор» в процессе проектирования. К таким базам относятся: база наименований и обозначений комплектующих изделий, база применяемых нормативных документов; база применимости унифицированных деталей и сборочных единиц; база типовых формулировок технических требований в чертежах и др. Влияние «человеческого фактора» на процесс проектирования с расширением применяемых возможностей компьютерной техники снижается, но не может быть устранено полностью.

Колесник М.А., Крикун К.П. Український
державний університет залізничного транспорту,
Харків, Україна

СУТНІСТЬ ПРИНЦИПУ УЗГОДЖЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ

Стосовно до трибосистеми, якими по праву можна вважати поршне-вий двигун в цілому і його ЦПГ зокрема, цей принцип можна охарактеризувати як принцип узгодження або принцип трибоадаптивності. Оскільки сам процес тертя являє собою приклад дисипативної самоорганізації, при якій робота вузла тертя при створенні відповідних умов може протікати з мінімальними втратами енергії і матеріалу, застосування принципу узгодження до деталей, що труться і змащує їх матеріалами є найбільш ефективним. Цей принцип має на увазі досягнення оптимального функціонування трибосистеми з мінімізацією енерго- і матеріалозатрат (мінімумом тертя і зношування) на основі враху-

вання та узгодження за певними правилами внутрішніх показників і властивостей структури (форми, профілю, твердості, шорсткості і т.п.) з характером зміни зовнішніх факторів (кінематики, зовнішнього навантаження, в'язкості мастила, температури і ін.).

Без урахування зазначеного принципу в даний час, в умовах зрослих рівнів форсування ДВС з одного боку і зробити більш жорсткими вимоги до енерго і ресурсозбереження з іншого, вже неможливо уявити проектування сучасних конкурентоспроможних виробів двигунобудування. Особливість практичного застосування принципу узгодження до трибосистеми полягає в тому, що отримання ефективних технічних або технологічних рішень, які мінімізують, зокрема, втрати на тертя і зношування, в конкретному вузлі тертя кожен раз вимагає ретельного вивчення характеру зовнішніх впливів і встановлення їх зв'язку з внутрішніми властивостями структури (визначальними показниками і характеристиками деталі і матеріалу). Основне загальна вимога принципу: внутрішні властивості структури (тобто деталі і матеріалу) повинні бути узгоджені з характером зовнішніх впливів на цю структуру. Приймати і враховувати цю вимогу на якісному рівні, в загальному, не складає великих труднощів. Набагато складніше буває отримати кількісні результати застосування принципу, що виражаються в призначенні раціональних довжин, висот, показників твердості, законів зміни показника за напрямками, побудови зворотних зв'язків і т.п.

Для досягнення кількісного результату в кожному випадку потрібно рішення певної творчої завдання, пов'язаної з встановленням аналітичної кількісної взаємозв'язку між внутрішнім показником і цільовою функцією, в якості якої в даному випадку розглядаються сила тертя (або прямим чином впливає на неї інша величина) і знос.

На рис. 1 можна побачити типовий приклад застосування принципу узгодження на якісному рівні (тобто на рівні прийняття співвідношення «більше-менше») для раціонального конструювання спідниці поршня ДВС, а саме: призначення різних довжин і овальності спідниці поршня на протилежних (в площині гойдання шатуна) її сторонах. У цьому технічному рішенні профіль спідниці поршня виконаний асиметричним в повній відповідності з асиметричним характером зміни бічної сили поршня N на найбільш енергетично важливих тактах (2 і 4: «Стиснення» і «Робочий хід»).

Результат застосування такого підходу до профілізації призводить до зниження тертя, а також більш рівномірному і помірному зношуванню поршня.

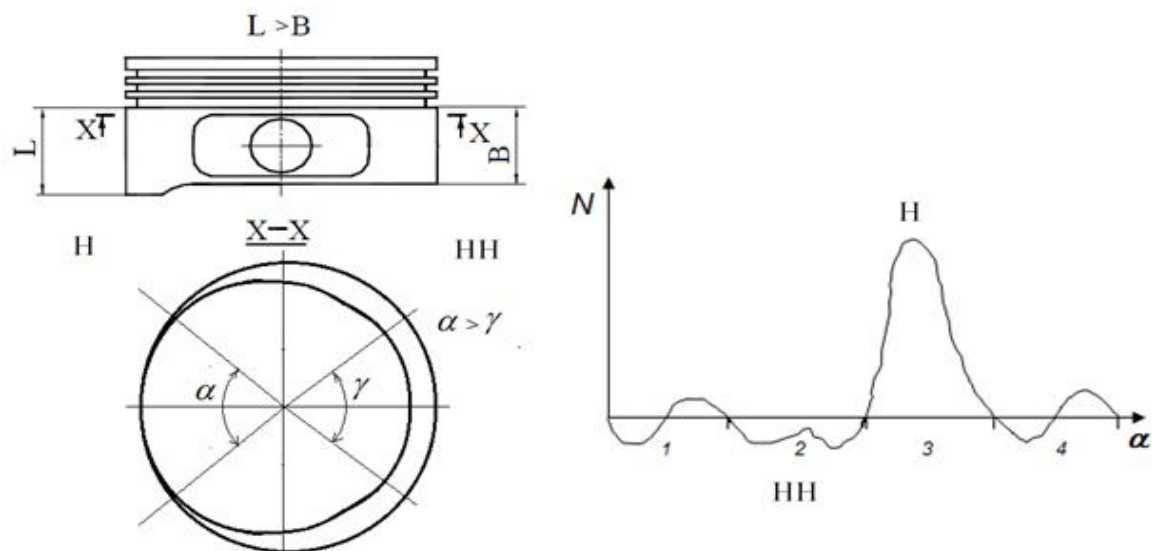


Рис. 1 – Типовий приклад застосування принципу узгодження на якісному рівні для раціонального конструювання спідниці поршня ДВС

Комарова Г.Л, Грибанов М.В. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ПОЛІПШЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ

Значного поліпшення якості машин, підвищення їх довговічності і великий економії металу в машинобудуванні можна досягти застосуванням високоякісних, високоміцних конструкційних матеріалів, а також впровадженням у виробництво прогресивної технології їх механічної обробки і поверхневого зміцнення.

В даний час все більш широке застосування в машинобудуванні (в т.ч. на залізничному транспорті) знаходить високоміцний чавун з кулястим графітом (ВЧКГ). Завдяки своїм фізико-механічним і ливарним властивостям він з успіхом може використовуватися замість дорогого сталевих прокату, сірого і ковкого чавунів.

Вимоги до ВЧКГ як до конструкційного матеріалу безперервно зростають у міру збільшення навантажень на деталі в машинах і вузлах. Тому на сучасному етапі актуальною є проблема створення ефективних методів остаточної механічної обробки і поверхневого зміцнення з ме-

тою забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей поверхневого шару чавунних деталей (зносоустійкість, контактна жорсткість, втомна міцність і т.д.), в т.ч. з використанням інструменту з синтетичних надтвердих матеріалів на основі нітриду бору.

Розроблена технологія комплексної механічної обробки деталей з високоміцного чавуну складається з двох етапів: лезово-зміцнюючої обробки і подальшого алмазного вигладжування. Така технологія є ресурсозберігаючою та екологічно чистою, що дозволяє в багатьох випадках замінити традиційну поверхневу термічну (гартування СВЧ) і хіміко-термічну обробку (азотування, карбонітрування), в процесі яких використовуються токсичні для людини середовища, а також виключити з технологічного циклу малоефективні операції абразивного шліфування.

Суть лезово-зміцнюючої обробки полягає в утворенні в процесі різання (при точінні) такого тепло напруженого стану, який викликає в поверхневому шарі деталі структурні перетворення (вторинне гартування) з отриманням зміцненого (білого) шару. Таким чином забезпечується проведення чистової механічної обробки зі зняттям припуску і одночасним зміцненням поверхневого шару виробу. Такий метод супроводжується значними питомими тисками і температурами в зоні обробки, які визначаються, в свою чергу, фізико-механічними властивостями інструментального і оброблюваного матеріалу, геометричними параметрами інструменту і режимами обробки.

Під час експериментальних робіт проводилося дослідження впливу вихідної металевої матриці на шорсткість і зміцнення поверхневого шару зразків з високоміцного чавуну в різному структурному стані при комплексній механічній обробці (лезово-зміцнююча обробка з наступним алмазним вигладжуванням).

Для експериментальних досліджень використовувалися циліндричні зразки з високоміцного чавуну, що застосовуються в даний час для виробництва відповідальних деталей двигунів внутрішнього згоряння (колінчастих і розподільних валів, поршневих кілець, шатунів і т.д.), наступного хімічного складу: 3,5% С, 2, 7% Si, 0,7% Mn, 0,03% P, 0,005% S, 0,1% Ni, 0,1% Cr, 0,07% Mg. Чавунні зразки, отримані з однієї плавки, потім піддавалися різним видам термічної обробки.

Раціональні марки інструментальних матеріалів для лезово-зміцнюючої механічної обробки високоміцного чавуну вибиралися на підставі аналізу основних фізико-механічних характеристик інструментальних матеріалів, а також за результатами експериментального визначення коефіцієнта тертя пари «ВЧКГ – інструментальний матеріал». Таким

чином, в якості інструментальних матеріалів були обрані: твердий сплав Т15К6 і полікристалічний надтвердий матеріал на основі нітриду бору гексаном-Р (композит 10). Для алмазного вигладжування використовували індентор з АСПК (ТУ 2-037-100-78) з радіусом при вершині 1,5 мм.

Металографічними дослідженнями встановлено, що білий шар на високоміцному чавуні після лезово-зміцнюючої обробки є структурою мартенситу надзвичайно тонкої будови і залишкового аустеніту, який має більш велику мікротвердість, ніж звичайний, за рахунок того, що є наклепаним. Структура мартенситу білого шару характеризується більшою твердістю, ніж мартенсит того ж чавуну звичайного гартування.

Використання різців з гексаніту-Р дозволяє отримувати менші значення шорсткості поверхні після лезово-зміцнюючої обробки ВЧКГ, ніж при обробці твердим сплавом Т15К6, а це виключає виконання подальшого алмазного вигладжування, що економічно доцільно.

У процесі алмазного вигладжування відбувається: зниження шорсткості поверхні, деяке підвищення мікротвердості поверхневого шару (за рахунок перетворення частини залишкового аустеніту в мартенсит), зменшення неоднорідності поверхневого шару, а також утворення в ньому залишкових напружень стиску.

Таким чином, мікротвердість поверхневого шару після комплексної механічної обробки ВЧКГ досягає 5800–8700 МПа при товщині зміцненого шару 20–100 мкм, шорсткість поверхні складає Ra 0,15–0,8 (залежно від структури вихідної металевої матриці чавуну і виду інструментального матеріалу).

*Косач Н.І., Павлова Г.О. Державне підприємство
«Харківський машинобудівний завод «ФЕД»,
Харків, Україна*

ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 9100 НА АВІАКОСМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ

Впровадження системи управління якістю (СУЯ) на підприємстві є стратегічним рішенням для підвищення його показників функціонування, а також створює міцний базис для стійкого розвитку. Це зумовлено тим, що на сьогодні дуже багато уваги приділяється якості продукції, як однією з важливіших компонентів її конкурентоспроможності на

ринку. Одним з доказових елементів якості продукції є наявність впровадженої СУЯ, яка сертифікована і відповідає вимогам ISO 9001 (в Україні чинний як ДСТУ ISO 9001:2015). Тим самим підприємства показують, що вони здатні виробляти якісну продукцію, мають для цього всі необхідні людські, матеріальні, нормативні атрибути тощо.

Враховуючи специфіку галузі для організацій авіаційної, космічної та оборонної галузей запроваджений окремий стандарт, який також стосується СУЯ і оснований на серії стандартів ISO 9000. Це стандарт EN 9100 [1], який узгоджений з ISO 9001 і ISO 9004. Останню версію EN 9100 прийнято у 2018 році, яка набула чинності в Україні з 01.11.2018 як ДСТУ EN 9100:2018 «Системи управління якістю. Вимоги до організації авіаційної, космічної та оборонної галузей (EN 9100:2018, IDT)». Цей стандарт належить до групи стандартів AS (Aerospace Standard), яка прийнята для аерокосмічної галузі (AS 9100).

Відмінність нової версії EN 9100:2018 (AS 9100) полягає в тому, що він сфокусований на більш загальному, стратегічному підході до якості в організації і повністю включає сучасну версію ISO 9001 [2], додаючи вимоги щодо якості та безпеки

Необхідність впровадження цього стандарту обумовлена тим, що основні виробники та постачальники аерокосмічної продукції по всьому світу вимагають дотримання та/або оцінки відповідності СУЯ вимогам EN 9100:2018 (AS 9100) як умови ведення бізнесу з ними.

Враховуючи це, на підприємствах авіаційної, космічної та оборонної галузей рекомендовані до впровадження процедури і стандарти СУЯ за для досягнення сталого успіху. Впровадження EN 9100 просте, якщо підприємство має впроваджену СУЯ на відповідність вимогам ISO 9001, а також оцінено на відповідність вимогами ISO 9004 [3], який є необов'язковим і, на жаль не знайшов належного впровадження на підприємствах країни. ISO 9004 в Україні чинний з 01.01.2020 як ДСТУ ISO 9004:2018 Управління якістю. Якість організації. Настави щодо досягнення сталого успіху (ISO 9004:2018, IDT). Але, якщо керівництво зацікавлено у практичному розвитку свого підприємства, удосконалення СУЯ, то ISO 9004 є ефективним інструментом для самооцінки, що є однією з вимог стандартів ISO 9001 і EN 9100, і дозволяє ефективно виявляти області, у яких можуть бути здійснені максимально продуктивні заходи до поліпшення якості своєї продукції.

Таким чином, впровадження EN 9100 на підприємствах України авіаційної, космічної та оборонної галузей дозволить більш структуровано визначати ключові факторів, які необхідно враховувати при

визначенні контексту організації, де поряд із зацікавленістю сторін, зовнішніми і внутрішніми питаннями, ефективністю, якістю і гнучкістю, буде відноситися соціальна відповідальність, екологічні та культурні чинники, безпека, які також впливають на здатність організації досягати стійкого успіху.

Література

1. EN 9100:2018 Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defence Organizations
2. ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements
3. ISO 9004:2018 Quality management – Quality of an organization – Guidance to achieve sustained success

*Кочурко-Станиславчик Ю.В., Смоленцева Л.В.,
Голод О.И., Санюк И.В. Управление научно-
организационной и правовой работы аппарата
НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ

Отношения в области стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия, а также обеспечения качества регламентируется в Республике Беларусь соответствующими актами законодательства. В республике постоянно осуществляются мероприятия, направленные на дальнейшее создание условий для проведения работ по обеспечению качества продукции и подтверждению ее соответствия требованиям.

В целях обеспечения качества продукции, работ и услуг необходимы как профессионализм в принятии решений и управлении организациями, так и государственная поддержка, осуществляемая путем издания соответствующих нормативных правовых актов.

Госстандарт Республики Беларусь, согласно принятому законодательству, наделен правом установления в стандартах Государственной системы стандартизации Республики Беларусь (ГСС) общих, единых организационно-технических правил проведения всех видов работ по стандартизации в любых сферах деятельности и на всех уровнях управления, а также форм и методов взаимодействия при этом субъектов хозяйство-

вания друг с другом и государственными органами. Это право Госстандарт реализовал, приняв комплекс основополагающих стандартов ГСС:

Государственные стандарты разрабатываются техническими комитетами по стандартизации, при их отсутствии – любыми заинтересованными лицами с надлежащими полномочиями. Кроме того субъекты хозяйствования разрабатывают свои технические нормативные правовые акты.

Технические условия (ТУ) – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем, содержащий технические требования к конкретному типу, марке, модели, виду реализуемой продукции или оказываемой услуги, включая правила приемки и методы контроля.

Технические условия разрабатываются юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем на продукцию (услугу), предназначенную для реализации при отсутствии государственных стандартов Республики Беларусь, распространяющихся на данную продукцию, а также в случаях, когда это предусмотрено стандартами на продукцию, при необходимости дополнения или уточнения требований, установленных в этих стандартах.

Требования, устанавливаемые в ТУ, не должны противоречить требованиям технических регламентов и законодательных актов Республики Беларусь, распространяющихся на данную продукцию.

Технические условия являются собственностью юридического лица и индивидуального предпринимателя – держателя подлинника ТУ. *Держатель подлинника технических условий* – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, осуществляющие утверждение, учет, хранение, внесение изменений и восстановление подлинника технических условий. *Срок действия ТУ* устанавливает держатель подлинника ТУ. Срок действия ТУ (продление срока действия ТУ) – не более пяти лет.

Технические условия, держателем подлинников которых являются другие юридические лица или индивидуальные предприниматели, в том числе юридические лица и индивидуальные предприниматели других государств – участников СНГ, по которым предполагается изготавливать продукцию, могут применяться изготовителями продукции только при наличии у них учтенных копий. Эти ТУ должны быть зарегистрированы в Республике Беларусь в установленном порядке. Обеспечение ТУ предприятий, организаций (далее – пользователей), а также постановку пользователей на абонентный учет осуществляет держатель подлинника ТУ на договорной основе.

Техническое описание – технический документ на конкретную продукцию (услугу), разрабатываемый в случаях, когда это предусмотрено государственными стандартами (техническими условиями) на данную продукцию (услугу), утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

Технические описания входят в комплект технической документации (конструкторской, технологической и т.д.) на продукцию (услугу). Разработчиком технических описаний могут быть разработчики (изготовители) продукции или исполнители услуг.

Рецептура продукции – технологический документ, разработанный на многокомпонентную по составу (два и более компонента) продукцию, устанавливающий перечень и количественное содержание (соотношение) применяемых компонентов: сырья, материалов, полуфабрикатов.

Рецептуры разрабатывают в случаях, когда это предусмотрено стандартами (техническими условиями) на данную продукцию (группу однородной продукции), а также по усмотрению разработчиков технологических документов и (или) изготовителей продукции.

Проекты рецептур продукции, которая оказывает воздействие на безопасность жизни и здоровья людей, подлежат согласованию с органами государственного санитарного надзора. Рецептуру утверждает руководитель (заместитель руководителя) изготовителя продукции.

Стандарт организации – стандарт, разработанный и утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

Разработка стандартов организаций осуществляется по правилам, разработанным самими организациями.

Стандарты организаций можно объединить в следующие группы:

- первая группа – ограничительные стандарты; создаются на основе государственных стандартов и ограничивают номенклатуру применяемых на конкретном предприятии марок материалов, типоразмеров изделий и др.;
- вторая группа – организационные стандарты; это стандарты, составляющие основу систем менеджмента качества, стандарты на правила оформления документации и др.;
- третья группа – специальные (оригинальные) стандарты на технологическую оснастку и т.п.

Стандарты организаций не разрабатываются на продукцию, реализуемую юридическим или физическим лицам, или на оказываемые услуги.

Кривов Г.А., Шулепов В.Н., Кайнов М.Н.
АО «УкрНИИАТ», Киев,
Кравченко И.Ф., Степаненко С.М., Атанасова А.А.
ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

КОРПОРАТИВНАЯ СИСТЕМА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

Для решения возникших проблем нормативного обеспечения предприятий и организаций авиационной промышленности Украины, связанных с реализацией положений закона «О стандартизации», по инициативе ряда предприятий принято решение провести корпоративную стандартизацию в рамках авиастроительной отрасли и создать единую корпоративную систему нормативных документов (КСНД). Минобороны Украины и ГК «Укроборонпром» поддержали инициативу создания КСНД.

АО «УкрНИИАТ» по договору с ГП «Ивченко-Прогресс» в качестве первого основополагающего нормативного документа КСНД разработаны «Методические рекомендации по организации работ по корпоративной стандартизации в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины». Документ определяет основные положения по корпоративной стандартизации и методические рекомендации по организации работ в этой сфере, порядок создания, обозначения, применения и пересмотра корпоративных НД, порядок взаимодействия предприятий и организаций в рамках КСНД и взаимодействия КСНД с внешними системами стандартизации, а также другие вопросы, связанные с функционированием КСНД.

Проведенный анализ показывает, что в структуре существующего нормативного базиса авиастроения Украины стандарты ГОСТ и ДСТУ составляют 5%, руководящие технические материалы, производственные инструкции, технические рекомендации, методические указания – 20%, технические условия – 25%, отраслевые стандарты ОСТ и ГСТУ – 45%, другие НД – 5%. Фактически около 65% этих НД являются нормативами отраслевого уровня. Отсюда видно, что для предприятий и организаций авиационной отрасли работа по замене массива отменяемых в Украине межгосударственных стандартов ГОСТ и отраслевых НД, действие которых должно прекратиться в 2029 году, является крайне важной и весьма актуальной.

Для проведения начального этапа работ по созданию КСНД образована Рабочая группа из представителей заинтересованных предпри-

ятий, периодически собирающаяся для выработки совместных решений. Общим решением предприятий и организаций, основателей системы, определена Главная организация по корпоративной стандартизации (ГОС) в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины, которая будет осуществлять свою деятельность в соответствии с утвержденным Положением о ГОС. Функции ГОС поручено выполнять АО «УкрНИИАТ».

В соответствии с Программой корпоративной стандартизации и ежегодными планами, разработка нормативных документов для КСНД может осуществляться как непосредственно предприятиями и организациями – участниками системы, так и техническим комитетом по корпоративной стандартизации (ТКК), который предполагается создать при участии заинтересованных юридических и физических лиц как консультативно-совещательный орган в сфере корпоративной стандартизации. В последующем предусматривается создание единого Фонда корпоративных нормативных документов в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины. Не реже одного раза в год ГОС созывает Общее собрание КСНД для принятия решений. Принципиальная организационная структура КСНД в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины и её взаимодействие с органами исполнительной власти, государственными учреждениями и другим корпоративными системами НД показана на рис. 1.

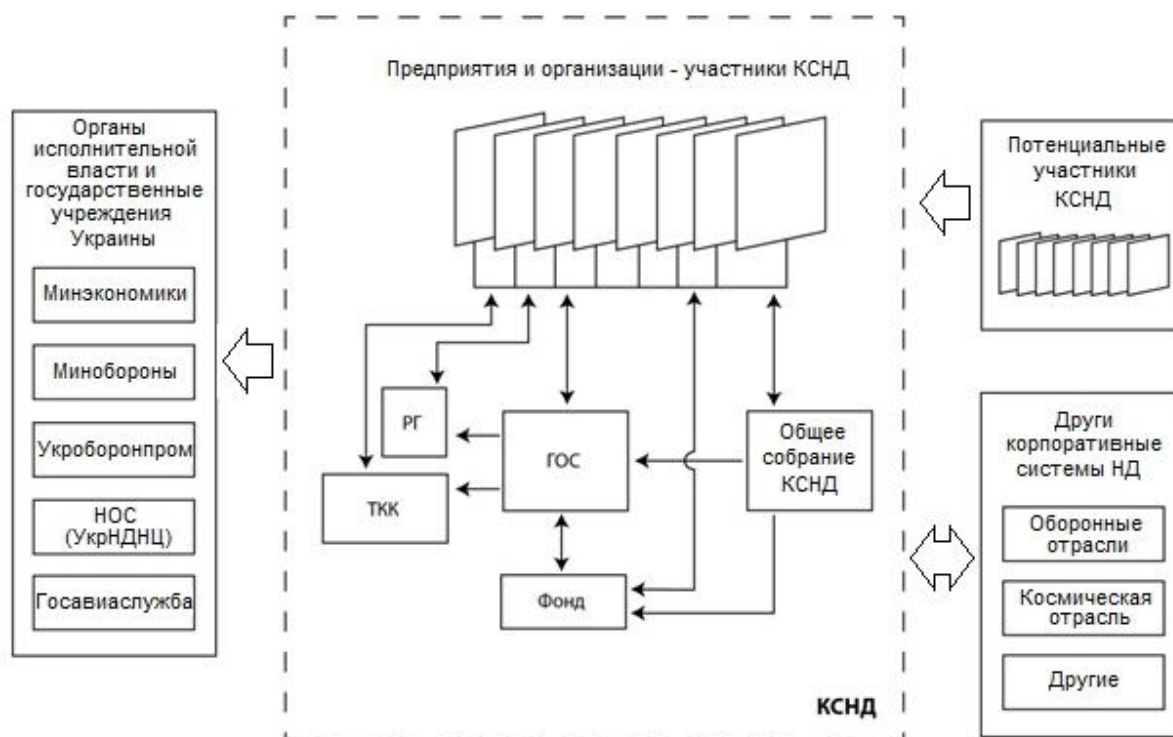


Рис. 1 – Организационная структура КСНД

В соответствии с Законом Украины «О стандартизации», корпоративные НД, не являясь документами национального уровня, принимаемыми национальным органом стандартизации, относятся к уровню стандартов, кодексов установившейся практики и технических условий, принимаемых предприятиями и организациями, осуществляющими собственную стандартизацию, то есть, относятся к уровню стандартов организаций. В связи с этим, в обозначении документов КСНД предлагается использовать аббревиатуру «СОУ АІ», что означает – Стандартизация организаций Украины. Авиационная индустрия.

*Кривошеков В.Е. Учебно-исследовательский
центр «Надежность в судоходстве», Одесса, Украина*

«ТРИ УЛОВКИ» ТЕХНОЛОГИИ КАЧЕСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОЛЬШИХ МАШИН/СИСТЕМ

На прошлогоднем аналогичном форуме, организованном АТМ Украины, прозвучал авторский доклад «Надёжность и качество – близнецы-братья» [1], перепечатанный белорусским журналом «Инженер-механик» (2019, №3, С. 18–19). Так сложилось, что управление/менеджмент качества процессов технического обслуживания (ТО) традиционно рассматривается специалистами в области теории и практики надёжности, а затем вливается в бескрайнее море современной науки о качестве. Эта тематика бесспорно интересна и актуальна сейчас, особенно в части конкретизации её отдельных положений. В настоящее докладе представлены общие понятия о трёх главных «уловках» при анализе технологического процесса превентивного ТО, позволяющие прогнозировать износы и повреждения в эксплуатации критических элементов больших машин, а также оптимизировать расход запасных частей для них. Рассмотрен пример использования технологии для больших машин горнодобывающей промышленности Австралии [2], что вполне применимо к техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) судов морского и речного флота Украины и не только [3, 4]. Под критическими элементами/деталью машин/систем понимаются такие, изнашивание, повреждение и несвоевременная замена которых приводят к катастрофическим последствиям, перерасходу денежных средств и длительным срокам простоя машины в

ремонте. Мне уже приходилось исследовать, моделировать и прогнозировать техническое состояние, например, вкладышей подшипников коленчатых валов судовых дизелей [5, 6]. Предлагаемые «уловки» позволяют понять и провести дальнейшее совершенствование уже существующих моделей и методик.

Уловка № 1. Понимание «демонизма вероятности» и двусмысленности среднего показателя, в конце концов, приводит к выводу, что нулевого риска нет и стратегии «нулевого риска» не существует! Всегда найдется множество неизвестных факторов, которые могут повлиять на срок службы критических элементов/деталей, и ни одна модель не может учесть их все. Роль и значимость профессионализма и надежности человека-оператора постоянно возрастает.

Уловка № 2. Лучше быть консервативным. Стоимость ремонта до того, как критические элементы/детали изнашиваются, повреждаются $\neq$ стоимости ремонта после их запоздалой замены.

Уловка № 22. В поисках золотой середины. Лучше быть консервативным. Но насколько? Менталитет «замени его на всякий случай» все еще имеет свою цену. Излишняя консервативность действительно приведет к огромным суммам в долгосрочной перспективе, возможно, даже больше, чем немного более рискованная стратегия, которая включает случайные отказы/поломки.... Решайте сами!

Литература

1. Кривошеков, В.Е. Надежность и качество – близнецы-братья / В.Е. Кривошеков // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: мат. 19-й Международ. науч.-практ. конф., 09–13 сентября 2019 г., г. Одесса.– К. : АТМ Украины, 2019. – С. 110–114.

2. Antoine Desmet (Data Scientist) The three dangers of predictive maintenance models. – Published on February 23, 2017 // Электронный ресурс. - Режим доступа: <https://www.linkedin.com/pulse/three-dangers-predictive-maintenance-models-antoine-desmet>

3. Krivoshchekov, Vladimir E. Reliability centered maintenance (RCM) : An introduction to the methodology / Vladimir E. Krivoshchekov // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд : Пр. Всеукр. наук.-техн. конф., 20–22.05.2015 р. – Миколаїв: НУК. – 2015.– С. 56–61.

4. Krivoshchekov, V.E. Up-to-date methodology of the risk-based assessment in the maritime safety management / V.E. Krivoshchekov // Proc. of the Joint Hungarian-Ukrainian-Bulgarian Conf. «Safety-Reliability

and Risk of Engineering Plants and Components», 22–25 May 2008. – Varna, Bulgaria.– P. 1–8.

5. Кривошеков, В.Е. «Юбилейная модель» или 20 лет методу диагностирования технического состояния судовых дизелей в эксплуатации/ В.Е. Кривошеков // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування: Пр. І-й Міжнарод. наук.-техн. конф. (IC DMDP-1), 21–24 вересня 2009 року, Тернопіль. – Тернопіль: ТДТУ ім. Івана Пулюя, 2009. – С. 294–300.

6. Кривошеков, В.Е. Надежный подход в проектировании, постройке и эксплуатации морских судов и их элементов / В.Е. Кривошеков // Тез. Международ. науч.-техн. конф. «Прочность материалов и элементов конструкций», посвящ. 100-летию со дня рождения Г.С. Писаренко, 28–30 сентября 2010 г. – К. : ИПП НАНУ, 2010. – С. 117–120.

Курзина Е.Г., Курзина А.М., Кудрявцева В.Д.

Российский университет транспорта,

Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В. Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

Клименко С.А., Копейкина М.Ю. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН, Киев, Украина,

Хейфец М.Л. Институт прикладной физики
НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПОЛИМЕРНЫЕ ДЕМПФИРУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ВИДЕ ДВУХСЛОЙНЫХ СЭНДВИЧ-АМОРТИЗАТОРОВ

В настоящее время регионы эксплуатации железнодорожного транспорта заметно расширяются, повышаются требования к провозным и пропускным способностям участков железных дорог, увеличивается маршрутные скорости движения поездов. Это вызвало необходимость введения специализации железнодорожных линий с разделением вагонопотоков под пассажирское (скоростное и высокоскоростное) и грузовое движение. В связи, с чем модернизация инфраструктуры будет в первую очередь связана с изменением жесткостных параметров железнодорожного пути путем разработки различных многослойных конструкций амортизаторов, т.к. удовлетворить комплексу требований, используя один унифицированный демпфер, не представляется возможным.

Решением данной проблемы может служить создание демпфирующих конструкций из различных совокупностей материалов, так называемых «сэндвичей». В качестве исходных компонентов для составления «сэндвичей» выбраны полимерный композит на основе резиновой смеси (ТПРК) и композиционный термоэластопласт (ТЭП1нж). Основной упруго-гистерезисной характеристикой однокомпонентных прокладок рельсовых скреплений является динамическая секущая жесткость, определяемая по динамическим гистерезисам, как отношение изменения нагрузки в диапазоне 20–90 кН к соответствующему изменению перемещений.

Для расчета жесткости прокладки с измененной толщиной достаточно жесткость тестового образца умножить на коэффициент, равный отношению толщин тестового и проектируемого элемента. Правомерность такого решения подтверждена комплексными исследованиями, представленными в работе [1].

Динамическую жесткость $C_{\text{общ}}$ двухслойных сэндвичей, состоящих из параллельных пластин, можно определить формуле:

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2},$$

где C_1 – жесткость 1 компонента; C_2 – жесткость 2 компонента.

На основе полученных экспериментально исходных данных (характеристики компонентов) теоретически рассчитаны жесткостные характеристики сэндвичей. Для подтверждения достоверности полученных данных проведено экспериментальное определение этих характеристик. Результаты динамических испытаний каждого компонента «сэндвича» и сборок: ТПРК 10 мм – ТЭП1нж 10 мм, ТПРК 14 мм – ТЭП1нж 14 мм, представлены на рис. 1, а расчетные характеристики в табл. 1. Сравнительный статистический анализ динамических жесткостей сэндвичей (табл. 1), показал, что среднеквадратичные отклонения не превышают 3,02, а значения коэффициента вариации – 2,78. Следовательно, мера разброса данных вокруг средней величины незначительная, а данные совокупности являются однородными, что говорит о хорошей сходимости результатов расчета и эксперимента.

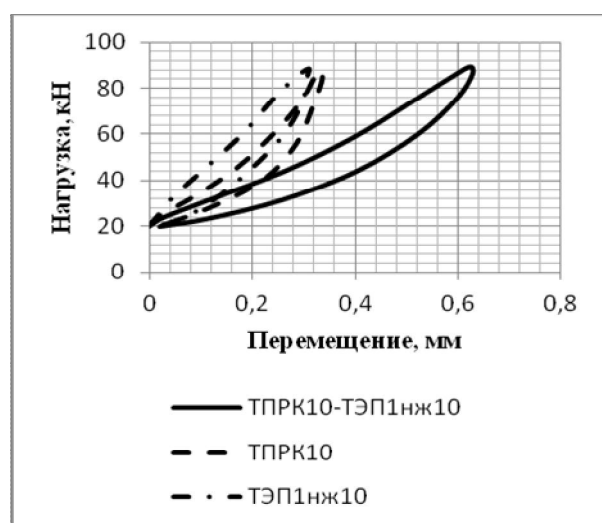
Динамические жесткости сэндвичей из однотипных компонентов равной толщины находятся в прямопропорциональной зависимости от соотношения общих толщин.

Для прокладок рельсовых скреплений целесообразно в качестве верхнего материала, соприкасающегося с рельсом, использовать резиновые композиты (например, ТПРК), обладающие высоким коэффици-

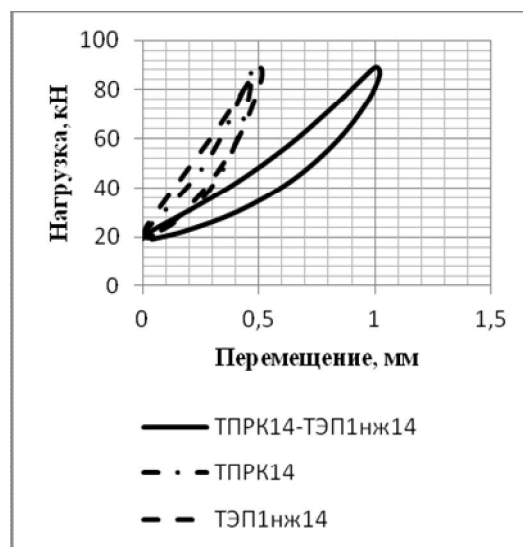
ентом трения, а в качестве нижнего материала – термоэластопласты (например, ТЭП1нж), устойчивые к воздействию агрессивных сред, более технологичные и долговечные.

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные значения динамических жесткостей

Характеристика	Наименование сборки «сэндвича»		
	ТПРК 10 мм – ТЭП1нж 10 мм	ТПРК 14 мм – ТЭП1нж 14 мм	ТПРК 14 мм – ТЭП1нж 10 мм
Экспериментальная динамическая секущая жесткость, кН/мм	111,66	68,65	86,34
Расчетная динамическая секущая жесткость, кН/мм	105,63	68,97	86,25
Стандартное отклонение (СКО)	3,02	0,16	0,05
Коэффициент вариации, %	2,78	0,23	0,05



а



б

Рис. 1 – Зависимость сжимающей нагрузки от перемещения при динамическом нагружении с частотой 10 Гц для:

а – составляющих компонентов 10 мм ТПРК, 10 мм ТЭП1нж и сэндвича общей толщиной 20 мм (10 мм ТПРК10 + 10 мм ТЭП1нж10); *б* – составляющих компонентов 14 мм ТПРК, 14 мм ТЭП1нж и сэндвича общей толщиной 28 мм (14 мм ТПРК + 14 мм ТЭП1нж).

Литература

1. Курзина, Е.Г. Исследование упруго-гистерезисных свойств демпфирующих композиционных материалов для железнодорожного транспорта при низких температурах в условиях статического и динамического

нагрузки / Е.Г. Курзина, А.Г. Колмаков, Ю.Н. Аксенов и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2019. – № 3. – С. 39–44.

Со стороны ИМЕТ РАН работа выполнена в рамках госзадания № 075-00947-20-00

*Кучук-Яценко С.І., Зяхор І.В., Завертанний М.С.,
Наконечний А.О. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона, Київ, Україна*

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМІЖНИХ ПРОШАРКІВ У ВИГЛЯДІ МЕТАЛЕВИХ НАНОШАРУВАТИХ ФОЛЬГ

Актуальною проблемою авіаційного двигунобудування є розроблення та упровадження ефективних технологій зварювання компонентів газотурбінних двигунів (ГТД), із високоміцних титанових і жароміцних нікелевих сплавів. Перспективним для вирішення цієї проблеми є застосування способів зварювання тиском – зварювання тертям і контактного стикового зварювання (КСЗ). Для активації процесу зварювання ефективним є використання проміжних прошарків у вигляді наношаруватих фольг (НФ).

Контроль якості з'єднань, виконаних способами зварювання тиском, зокрема з використанням проміжних прошарків, є складною технічною проблемою. Специфічна структура дефектів у вигляді тонких плівкових включень ускладнює їх виявлення засобами неруйнівного контролю (НК).

За використання методів радіаційного контролю (РК) вдається надійно виявити дефекти з'єднань, товщина яких не менша 0,1 мм. Капілярні методи забезпечують виявлення поверхневих дефектів і застосовуються як допоміжний метод контролю якості виробів відповідального призначення. За ультразвукового контролю (УЗК) його результати та імовірність виявлення дефектів залежать від багатьох факторів, зокрема від структури металу і геометрії зварного з'єднання.

Мета роботи – оцінити можливість ефективного контролю якості з'єднань, виконаних способами зварювання тиском з використанням проміжних прошарків у вигляді тонких металевих НФ. При УЗК з'єднань, виконаних способами зварювання тиском, за характеристика-

ми віддзеркалення дефекти можна умовно розділити на два види: перший – несучільності, яким властиве рівною мірою дзеркальне й зворотне відбиття; другий – тонкі плівки оксидів або залишків матеріалу НФ, які характеризуються дзеркальним і значно меншою мірою зворотним відбиттям.

При відпрацюванні технології виготовлення моноколів авіаційного ГТД конструкції АТ «Мотор Січ» проводили експерименти по КСЗ опором модельних зразків жароміцних нікелевих сплавів з використанням НФ систем Ni/Ti-Al, Al/Ti, Ti/Co, Ni/Cr товщиною 30...100 мкм. Досліджували формування з'єднань, отриманих за наявності відхилень від оптимального режиму КСЗ, проводили механічні випробування зразків на розрив, металографічні та фрактографічні дослідження і порівнювали їх результати з даними НК.

Під час УЗК і РК виявлення та ідентифікація дефектів першого типу (несучільності) не зумовила ускладнень. У випадку виявлення дефектів у вигляді тонких плівок, необхідно враховувати перешкоди, обумовлені луно-сигналами від структури зварного шва, бо амплітуди структурних шумів практично збігаються із сигналами від дефектів.

Встановлено, що за УЗК зварних з'єднань, виконаних з використанням проміжних прошарків у вигляді тонких металевих НФ, технологія контролю повинна забезпечити виявлення недосконалостей структури металу, пов'язаних з наявністю в стикі плівкових включень товщиною менше 100 мкм. Такі включення можуть з'являтися внаслідок невідповідності хімічного складу НФ заданому та порушення технології зварювання. Оскільки дефекти типу тонких плівок характеризуються, переважно, дзеркальним відбиттям, для їхнього виявлення рекомендується луно-дзеркальний метод УЗК із поєднанням двох акустичних перетворювачів у «тандем» і, який полягає в контролі шва двома перетворювачами, розташованими з однієї сторони шва один за іншим.

При металографічних дослідженнях з'єднань, отриманих за наявності відхилень від оптимального режиму КСЗ, встановлено наявність хімічної неоднорідності у вигляді залишків НФ у вигляді суцільного прошарку товщиною до 20 мкм. Такі дефекти суттєво впливають на механічні властивості з'єднань, але методами УЗК і РК не були виявлені. У той же час всі відхилення від оптимального режиму КСЗ реєструвались системою операційного контролю зварювальної установки та у змінному рапорті мали відмітку «брак».

Отже, для контролю якості зварних вузлів авіаційних ГТД, виконаних способами зварювання тиском з використанням проміжних проша-

рків у вигляді тонких металевих НФ, комплексне застосування систем НК зварного виробу та операційного контролю параметрів зварювання дозволяє гарантовано забезпечувати відповідність якості з'єднань вимогам чинних стандартів.

Практичний досвід свідчить, що при варіюванні значень основних параметрів режиму у встановленому технологією зварювання діапазоні досягається відповідність технічним умовам механічних властивостей з'єднань і повторюваність показників якості зварних виробів. Будь-які відхилення параметрів режиму зварювання за межі заданого діапазону реєструються системою операційного контролю. Результати контролю в друкованій формі використовуються як додаток-документ до паспорта кожного виробу. Тому для відповідальних зварних вузлів, зокрема компонентів авіаційних ГТД, актуальним є комплексне використання методів НК і операційного контролю параметрів режиму зварювання.

Системи операційного контролю встановлено на установках для зварювання провідних виробників авіаційних газотурбінних двигунів (Rolls Royce, MTU Aero Engines, Pratt & Whitney). Всі установки для зварювання тертям і КСЗ, розроблені в Інституті електрозварювання ім. Е.О. Патона, обладнані комп'ютеризованими системами контролю якості з'єднань та протягом багатьох років успішно застосовуються у процесі виготовлення виробів відповідального призначення у різних галузях промисловості.

*Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Лубнін А.Г.,
Зайцева І.М. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ МІЦНОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ СТОСОВНО ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Для виготовлення шліфувальних інструментів для машинобудування переважно застосовуються алмазні шліфпорошки марок АС6–АС20. В свою чергу, для правлячого інструменту застосовуються більш міцні алмази починаючи з марки АС32, що обумовлено необхідністю забезпечення такому інструменту максимально можливої стійкості. Внаслідок вдосконалення процесу синтезу отримані синтетичні алмази з більш високою міцністю до АС160 і вище.

Тому метою даної роботи було порівняльне дослідження фізико-механічних властивостей шліфпорошків підвищеної міцності синтетичних алмазів, які застосовуються в алмазно-гальванічних покриттях (АГП) для оснащення правлячого інструменту.

Дані по властивостям алмазних шліфпорошків марок АС50–АС125, синтезованих в системі Ni–Mn–C, надані в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості алмазних шліфпорошків зернистістю 400/315 різних марок, синтезованих в системі Ni–Mn–C

Найменування властивостей	Марки алмазів по ДСТУ 3292-95				
	АС50	АС65	АС80	АС100	АС125
Питома магнітна сприйнятливість, $\chi, \times 10^{-8}, \text{м}^3/\text{кг}$	15,2	10,5	8,0	3,5	1,8
Міцність при кімнатній температурі, $P, \text{Н}$	79,5	110,0	130,0	161,0	218,5
Міцність після термічної обробки, $P_{\text{ТО}}, \text{Н}$	35,0	71,5	92,3	132,0	192,3
Коефіцієнт термостабільності, $K_{\text{ТС}}$	0,44	0,65	0,71	0,82	0,88
Категорія термостабільності	НТ	СТ	СТ	ВТ	ВТ
Коефіцієнт однорідності за міцністю, $K_{\text{одн. міц.}}, \%$	54	58	65	61	69
Коефіцієнт дефектності поверхні, $K_a, \%$	1,23	0,62	0,44	0,19	0,13
Вміст включень, $\beta, \text{атом. \%}$	3,017	–	2,109	–	1,108

З табл. 1 виходить, що міцність шліфпорошків алмазу з діапазону марок АС50–АС125 стало знижується при збільшенні в них вмісту включень. Так, при підвищенні вмісту включень з 1,108 до 3,017 атом.% міцність зерен при кімнатній температурі спадає з 218,5 до 79,5 Н, а після термічної обробки – від 192,3 до 35,0 Н. Ця ж тенденція зберігається і для коефіцієнту термостабільності алмазів: знижується з 0,88 до 0,44. По $K_{\text{ТС}}$ встановлена категорія термостабільності для алмазів марок: АС125 та АС100 висока (ВТ), АС80 та АС65 – середня (СТ) і для АС50 – низька (НТ). Коефіцієнт однорідності за міцністю шліфпорошків алмазів із зменшенням їх міцності спадає від 69 до 54 %. А ось показники питомої магнітної сприйнятливості алмазів із зменшенням їх міцності збільшується з $1,8 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ до $15,2 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Аналогічно і дефектність поверхні шліфпорошків різних марок за коефіцієнтом поверхневої активності зростає від 0,13 до 1,23 %.

Як бачимо, алмази із збільшенням міцності суттєво змінюють свої властивості, а це відповідно буде впливати і на їх поведінку в АГП при виготовленні правлячого інструменту і відповідно і його експлуатації. Тому далі ми це і розглянемо.

Так, нами досліджений вплив густини струму на формування алмазно-гальванічного нікелевого шару з урахуванням зернистості і міцності алмазних зерен з діапазону АС50 400/315 до АС160 630/500. Встановлено, що міцність алмазних зерен вказаних шліфпорошків практично не впливає на режим осадження алмазно-гальванічного шару. При цьому виявлено, що процес зарощування доцільно починати із густини струму 0,25–0,30 А/дм² з поступовим підвищенням до 1 А/дм². Подальше підвищення густини струму є недоцільним, оскільки призводить до різкого короблення алмазно-нікелевого покриття і, відповідно, до зниження точності і зносостійкості інструменту. Підвищення густини струму доцільно починати після того, як нікель повністю покриє алмази.

Для досліджень АГП на зносостійкість були застосовані алмази зернистості 400/315 наступних марок – АС32, АС50, АС105Т АС160Т. Попередньо з сталеві фольги були виготовлені диски з елементами, що виступали, кількість яких у два рази перевищувало кількість марок алмазів, які досліджувалися. Потім на кожні два таких елементи наклеювалися електропровідним клеєм по 30 кристалів однієї марки. Тобто на диску розташовувалися алмази усіх досліджених марок. Отвердження клею провадилося у термошафі при 130 °С. Зарощування алмазів провадилося у ванні із сірководокислим нікелем при густині струму 0,5 А/дм², рН електроліту 4,0–4,5 протягом 7 діб при неперервному обертанні диску. Після зарощування алмазів нікелем пластини відрізалися від диску і напаявалися на циліндричні державки для проведення випробувань на зносостійкість.

Випробування на зносостійкість провадилися на круглошліфувальному верстаті мод. 3Б151. Правці піддавався абразивний круг ПП 600×63×305 з характеристикою 24А40СМ27К6. Режими правки: швидкість обертання круга – 35 м/с, подовжня подача – 1,0 м/хв., поперечна подача – 0,02 та 0,04 мм/хід (табл. 2). З табл. 2 видно, що збільшення міцності зерен алмазів від АС32 до АС160 дозволяє збільшити зносостійкість АГП у 2,63 рази при подачі 0,02 мм/хід, та 2,22 рази при подачі 0,02 мм/хід.

Таблиця 2 – Відносні витрати алмазів в зразках АГП з різною міцністю алмазів при правленні абразивного круга

Марка алмазів	Відносні витрати алмазів (мг/кг) в зразках АГП при поперечній подачі (мм/хід)	
	0,02	0,04
АС32	21,54±0,49	25,91±1,51
АС50	14,20±0,25	24,32±0,23
АС105Т	12,27±0,40	20,96±0,14
АС160Т	8,20±0,50	11,68±0,33

Наведене свідчить про те, що в АГП для правлячого інструменту доцільно застосовувати алмази марок не менш як АС160. Саме такі алмази будуть мати найменшу дефектність поверхні, високі коефіцієнти однорідності та термостабільності, а також високу категорію термостабільності, і, відповідно, найбільшу зносостійкість в правлячому інструменті.

*Лаврінченко В.І., Пасічний О.О., Полторацький В.Г.,
Лещенко О.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

МОДИФІКОВАНІ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ В ШЛІФУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

Для подальшого підвищення ефективності роботи шліфувального інструменту нами запропоновано застосовувати шліф порошки з модифікованою поверхнею.

Модифікування шліфпорошків синтетичного алмазу марки АС6 проводилось методом рідиннофазного нанесення з насичених розчинів як термостійких оксидів (B_2O_3 , CrO_3), хлоридів ($CaCl_2$, $NaCl$, $BaCl_2$, $MgCl_2$, $FeCl_3$, KCl), так і їх сумішей ($B_2O_3+CaCl_2$, B_2O_3+NaCl). Досліджувані шліфпорошки (25 ст) змішували з 10–15 мл насиченого розчину речовини-модифікатора протягом 10 хв. із застосуванням магнітної мішалки. Надлишок розчину зливали, суміш фільтрували. Одержану вологу масу порошку висушували, розмішуючи, при температурі 120°C до сухого однорідного стану. Дослідні зразки сумішей порошків синтетичного алмазу, як первинних, так і модифікованих як окремо термос-

тійкими оксидами, так і сумішами оксидів та хлоридів, було підготовлено для виготовлення шліфувального інструменту. Виготовлено шліфувальний інструмент – 15 шліфувальних кругів – на основі шліфпорошку синтетичного алмазу АС6, модифікованих як окремо термостійким оксидом (B_2O_3), так і в поєднанні з хлоридами ($NaCl$, $CaCl_2$).

Шліфувальний інструмент 12A2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці В2-08 підготовлений для проведення порівняльних випробувань при шліфуванні твердого сплаву Т15К6 без охолодження с продуктивністю шліфування 200 та 400 мм³/хв. Крім зносостійкості шліфувального інструменту будуть визначені показники шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні виготовленими кругами, Ra, Rmax, кроку мікропрофілю Sm та заповнення профілю на рівні середньої лінії t₅₀.

Результати досліджень застосування модифікуючих речовин ВаО, СгО₃, ВаСl₂ показали тільки незначне підвищення термостійкості порошків – у 3,0–3,5 рази нижче у порівнянні із застосуванням як окремо термостійким оксидом B_2O_3 , так і в поєднанні з хлоридами ($NaCl$, $CaCl_2$), тому виготовлення шліфувальних кругів з абразивними порошками, модифікованими цими речовинами, було визнано недоцільним.

Випробування засвідчили, що з точки зору зносостійкості алмазного інструменту найбільш цікавою є модифікація поверхні алмазних зерен хлоридом $CaCl_2$. Із суміші модифікаторів найбільш прийнятною є суміш $B_2O_3+MgCl_2$. За показниками шорсткості обробленої поверхні кращі показники виявилися у суміші модифікаторів $B_2O_3+MgCl_2$.

Тобто, суміш модифікаторів $B_2O_3+MgCl_2$ поверхні алмазних зерен марки АС6 є найбільш прийнятною для подальших досліджень.

Лавріненко В.І., Петасюк Г.А., Лубнін А.Г.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЗЕРНИСТОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ СТОСОВНО ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Застосування шліфпорошків синтетичного алмазу (СА) для абразивних операцій в машинобудуванні характеризується широким діапазоном показників їх статичної міцності, причому менш міцні марки по-

рошків (АС6–АС20) застосовуються в алмазних кругах для процесів шліфування виробів машинобудування, більш міцні (АС32–АС80) – для відрізних кругів, кругів на гальванічних зв'язуючих, для кругів, що використовуються для обробки каменю чи бетону. Шліфпорошки наступного діапазону міцностей (АС100–АС160) є характерними для породоруйнівного, використововуваного в геологорозвідувальних роботах, інструменту і, насамкінець, порошки найбільш міцних марок з діапазону АС160–АС400 застосовуються в прецизійному правлячому інструменті. Саме для останнього нас і в першу чергу цікавить наявність чи відсутність принципової різниці в морфометричних характеристиках зерен широкому діапазоні зернистостей і як це позначається на зносостійкості алмазно-гальванічного покриття (АГП).

Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик зерен порошків синтетичних алмазів здійснювали за допомогою приладу DialInspect.OSM [1]. Методом автономної математичної обробки отриманого за результатами DialInspect-діагностики XLS-файлу визначали середні значення отриманих показників морфометричних характеристик [2]. При виконанні даної роботи проаналізована низка морфометричних характеристик шліфпорошків СА з доволі великого діапазону його зернистостей – від 250/200 до 800/630. З сукупності характеристик, які нами діагностувалися для вказаних вище порошків, в базову для порівняльного аналізу сукупність були відібрані наступні насамперед відносні характеристики зерен: коефіцієнт форми $F_e = F_{max}/F_{min}$, як відношення максимального (F_{max}) та мінімального (F_{min}) діаметрів Фере зерен, f_r – компактність або форм-фактор фактичного зображення зерен, A_{lg} – відношення площі темної частини проекції зерна до його загальної площі у світлі, що проходить через зерно при діагностиці, R_g – шорсткість проекції зерен, а також такі важливі реальні характеристики зерен як: A_t – площа проекції фактичного зображення зерен, ϕ – середній кут загострення кромки зерен та n – середня кількість умовно різальних кромки на зерні.

Чим викликаний саме такий набір відносних характеристик? Коефіцієнт форми F_e та f_r (компактність) характеризують нам форму зерен. Показник A_{lg} – у певній мірі вказує на якість кристалів зерен з урахуванням їх габітусу. R_g – шорсткість проекції зерен характеризує розвиненість поверхні зерен.

В даній статті нас найбільше цікавили характерні тенденції в змінах вказаних вище показників із зміною зернистості алмазів. Нами була вибрана марка алмазів АС200. Діапазон досліджуваних зернистостей алмазів склав від 250/200 до 800/630 (рис. 1). З рис. 1 видно, що по-

казники F_e та A_{lg} змінюються протилежно. A_{lg} зростає, а F_e навпаки зменшується. Причому обидва показники після зернистості 500/400 починають стабілізуватися. Звернемо увагу на те, що для цього випадку не спостерігається кореляції між показниками форми зерен F_e та f_r . Якщо F_e досить суттєво зменшується, то f_r майже не змінюється в усьому дослідженому діапазоні зернистостей, хоча є певна тенденція до його зростання. Показники R_g , n та φ фактично не змінюються, хоча у двох останніх спостерігається слабка тенденція до зниження.

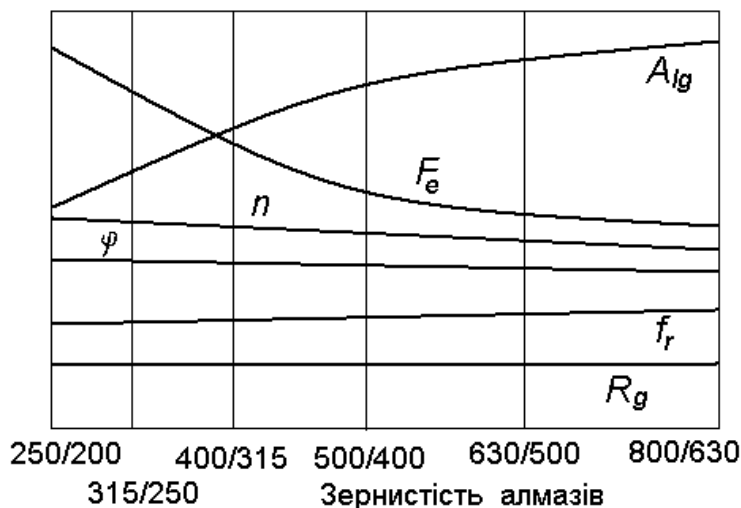


Рис. 1 – Умовні характерні криві зміни показників сукупності морфометричних показників шліфпорошків АС200 зернистостей від 250/200 до 800/630

Таким чином, з наведеного вище можливо зробити наступні узагальнені висновки для діапазону зернистостей зерен шліфпорошків від 250/200 до 800/630:

- спостерігається дві області зернистостей, а саме: від 630/500 і вище, де фактично показники морфометричних характеристик шліфпорошків змінюються мало, та до 630/500, коли два показники F_e та A_{lg} досить суттєво змінюються (характерна зернистість 630/500);
- інші показники в усьому дослідженому діапазоні зернистостей від 250/200 до 800/630 фактично не змінюються;
- ймовірно слід більш детально вивчити – чому не спостерігається кореляції між показниками форми зерен F_e та f_r , яка логічно повинна була би спостерігатися.

Як бачимо, алмази із збільшенням зернистості змінюють свої характеристики, а це відповідно буде впливати і на їх поведінку в АГП при виготовленні правлячого інструменту і відповідно і його експлуатації. Тому далі ми це і розглянемо.

Для досліджень АГП на зносостійкість були застосовані алмази марки 160Т зернистістю від 400/315 до 800/710. Попередньо з сталеві фольги були виготовлені диски з елементами, що виступали, кількість яких у два рази перевищувало кількість марок алмазів, які досліджувалися. Потім на кожні два таких елементи наклеювалися електропровідним клеєм від 3 до 15 кристалів в залежності від зернистості. Тобто на

диску розташовувалися алмази усіх досліджених зернистостей. Отвердження клею провадилося у термошафі при 130 °С. Зарощування алмазів провадилося у ванні із сірковокислим нікелем при густині струму 0,5 А/дм², рН електроліту 4,0–4,5 протягом 7 діб при неперервному обертанні диску. Після зарощування алмазів нікелем пластини відрізалися від диску і напаявалися на циліндричні державки для проведення випробувань на зносостійкість.

Випробування на зносостійкість провадилися на круглошліфувальному верстаті мод. 3Б151. Правці піддавався абразивний круг ПП 600х63х305 з характеристикою 24А40СМ27К6. Режими правки: швидкість обертання круга – 35 м/с, подовжня подача – 1,0 м/хв., поперечна подача – 0,02 мм/хід (табл. 1).

Таблиця 1 – Відносні витрати алмазів в зразках АГП з різною зернистістю алмазів при правленні абразивного круга

Зернистість алмазів АС160Т	Відносні витрати алмазів (мг/кг) в зразках АГП при поперечній подачі 0,02 мм/хід:
400/315	17,7
500/400	12,2
600/500	7,35
700/600	8,12
800/710	6,82

З табл. 1 видно, що збільшення зернистості алмазів від 400/315 до 800/710 дозволяє збільшити зносостійкість АГП у 2,6 рази.

Наведене свідчить також про те, що саме зернистість 630/500 є базовою в зміні як морфометричних характеристик зерен, так і в стабілізації зносостійкості. Тобто, застосовувати зернистість алмазів, вищу за 630/500 в АГП для правлячого інструменту недоцільно, якщо це не обумовлюється особливими вимогами Замовника для такого інструменту.

Література

1. List, E. A new system for single particle strength testing of grinding powders / E. List, J. Frenzel, H. Vollstadt // Industrial diamond review. – 2006. – №1. – Р. 42–47.
2. Сафонова, М.Н. Компьютерно-аналитические методы диагностики эксплуатационных характеристик алмазных порошков и композиционных материалов на их основе / М.Н. Сафонова, Г.А. Петасюк, А.С. Сыромятникова. – Новосибирск : Из-во СО РАН, 2013. – 222 с.

ПРОБЛЕМИ ОТРИМАННЯ ДОСТОВІРНИХ ДАНИХ ПРО РОЗПОДІЛ НАНОЧАСТИНОК ПО РОЗМІРАХ У СУСПЕНЗІЯХ МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

Протягом останніх 50 років динамічне розсіювання світла (DLS) є важливим інструментом для визначення розподілу наночастинок (НЧ) за розмірами у суспензіях [1–4]. Ключова небезпека отримання недостовірних даних про розміри НЧ полягає в підборі «задовільної» рідини для розведення зразка вихідної суспензії. Визначення «задовільна» означає, що рідина для розведення зразка повинна найбільш точно відповідати вихідній суспензії за такими характеристиками: провідність, в'язкість, pH і вміст поверхнево-активних речовин (ПАР).

Неправильно підібраний розчинник може привести до агрегації вихідних НЧ у розчині. Як правило, агрегація викликається зменшенням негативного або позитивного значення дзета-потенціалу (ζ -потенціал) через зміни провідності, pH або вмісту ПАР. Максимальна агрегація відбувається коли ζ -потенціал розчину наближається до ізоелектричної точки ($\zeta = 0$ мВ). Найважливішим параметром, що впливає на стабільність суспензії є pH , тому дуже важливо знати вихідний pH суспензії і, відповідно, використовувати розчинник з цим pH .

Концентрація ПАР – другий за важливістю параметр, який необхідно контролювати. Додавання ПАР забезпечують стабільність суспензії, і будь-яка зміна її концентрації в розчині може знизити ζ -потенціал і призвести до агрегації НЧ. Тому, при розведенні суспензії, що містить ПАР, концентрація ПАР повинна залишатися незмінною.

Важливою умовою отримання достовірного результату розподілу НЧ за розмірами в суспензіях методом DLS є також моніторинг температури, в'язкості та концентрації НЧ. Високі значення в'язкості (> 50 сп) і значний вміст НЧ у розчині (більше 100 ppm) можуть створювати проблему для броунівського руху і швидкості руху частинок. Відомо, що в'язкість зменшується при нагріванні, менша в'язкість означає менший опір руху частинок, що є причиною збільшення швидкості їх руху, і це може змінити або спотворити вимірювання доплерівського зсуву. Якщо при цьому стабільність розчину буде мати тенденцію до знижен-

ня, середній розмір загальної маси частинок може мати тенденцію до збільшення. При розведенні таких суспензій замість ідеальної кривої (купол з піком при XX нм) можна отримати бі(три) модальне розподілення НЧ за розміром, що, імовірно, є ознакою відсутності відтворення результату експерименту. Тому, при аналізі отриманих даних так важливо кожен раз звертати увагу саме на відтворювання результатів (проводити декілька вимірювань) та визначати дзета-потенціал розчину.

Додатковим фактором, що впливає на достовірність одержаного результату, може стати форма НЧ. Прилади DLS формують гранулометричний склад на основі припущення, що аналізовані частинки мають сферичну форму. Щоб виключити вплив даного чинника, для визначення форми НЧ треба використовувати електронну мікроскопію.

Також, поширеною проблемою при аналізі даних, отриманих за допомогою методу DLS, є мінімізація захоплення повітря зразком і забезпечення зниження шуму розчинник/носій в порівнянні з вихідною наносуспензією. Важливо уникати попадання бульбашок повітря в процесі розведення зразка, оскільки вони здатні відбивати світло и спотворювати результат експерименту.

Аналізуючи проблеми отримання достовірних результатів розподілу НЧ за розмірами в суспензіях методом DLS, можна зробити однозначний висновок – слід відповідально ставитися до питання пробопідготовки. Вирішити проблему отримання достовірних результатів допоможуть дотримання правил розведення суспензії, гомогенізації і стабілізації зразка до і після його розведення при заданій температурі з використанням оптимального режиму ультразвукової обробки.

Література

1. Freud, P.J. Nanoparticle Sizing: Dynamic Light Scattering /P.J. Freud
2. Powers, J. Challenges of Obtaining Valid Particle Size Data in Inkjet Inks / J. Powers, K. Eisemon.
3. Pugh, D. The dangers of dilution when measuring water based pharmaceutical suspensions and how Nanoflex overcomes these obstacles / D. Pugh // American J. of Advanced Drug Delivery. – 2017
4. Desplat, C. 180° DLS At Line, In Line and Out Line Nano-Particle Measurement / C. Desplat, R. Keighley, A. de Marco.. – 2020, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=18964>

*Майстренко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д.,
Виноградова О.П., Васильчук О.С., Базалій Г.А.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З АЛМАЗОВІСНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА МЕТАЛЕВИХ З'В'ЯЗКАХ

Прогнозування ефективності руйнування гірської породи, вдосконалення або створення нового інструменту неможливо без встановлення закономірностей інтенсивності зношування функціональних елементів з алмазовмісного композиційного матеріалу (КАМ) на металевих зв'язках [1]. Необхідну вихідну інформацію для цього може надати дослідження магнітофракційного складу продуктів руйнування (шламу) та оцінка ефективності їх розділення.

Мета роботи – дослідження магнітофракційного складу та оцінка ефективності розділення в магнітному полі продуктів руйнування гірської породи (шламу) функціональними елементами з КАМ.

Дослідження проводили на підставі узагальнюючої теорії процесів збагачення дисперсних корисних копалин, яка заснована на поняттях фракційного складу сировини та сепараційних характеристиках [2]. Для отримання експериментальних результатів та статистично достатньої вибірки досліджували магнітні характеристики шламу руйнування пісковика Торезського родовища в результаті його обробки експериментальними елементами з КАМ (матричний матеріал NiSn (6%), абразивна складова – порошок алмазу марки AC200 зернистості 400/315). Елементи виготовляли методом інтенсивного резистивного електроспікання під тиском 180–240 МПа.

Відомо, що пісковик містить кварц (SiO_2 в кількості 75–85 об.%); доломіт ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); пірит (FeS_2), які з'єднані глинистим цементом. Питома магнітна сприйнятливість пісковика складає $2,36 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, алмазного порошку марки AC200 зернистості 400/315 – $8,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, металовмісних складових функціональних елементів з КАМ – $(9000\text{--}10000) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ [3].

Експерименти проводили в умовах, які забезпечували інтенсивність зношування функціональних елементів 75, 105, 170 мг/км за ме-

тодікою [4]. Магнітофракційний склад шламу та сепараційні криві встановлювали за результатами розподілення шламу на фракції у магнітному полі при використанні універсального електромагніту УЭМ-1Т та за допомогою ручного магніту. Маса кожної фракції встановлювали гравіметричним методом. Питому магнітну сприйнятливість (χ , м³/кг) встановлювали за методикою [5].

В результаті досліджень встановлено, що величина питомої магнітної сприйнятливості шламу, який отримано при найменшій інтенсивності зношування 75 мг/км та найбільшій 170 мг/км розрізняється та складає $(42,94 \text{ та } 85,80) \cdot 10^{-8}$ м³/кг відповідно. Зростання інтенсивності зношування з 75 до 170 мг/км призводить до зростання питомої магнітної сприйнятливості шламу в 2 рази, магнітної фракції в 1,5 рази, вмісту магнітної фракції в 1,8 рази.

Інтенсивність зношування елементів впливає на параметри сепараційних характеристик розподілу шламу у магнітному полі. Границя поділу шламу, який отримано при інтенсивності зношування елементу 75 мг/км, складає $(2334,46) \cdot 10^{-8}$ м³/кг, при інтенсивності зношування 170 мг/км — $(4477,99) \cdot 10^{-8}$ м³/кг. Границі розподілу відрізняються в 1,9 рази. Тангенс кута нахилу ($\text{tg}\alpha$) сепараційних характеристик дорівнює: при інтенсивності зношування елементу 75 мг/км — 0,0121, при інтенсивності зношування 170 мг/км — 0,01. Тангенс кута нахилу ($\text{tg}\alpha$) кривих розрізняється на 21%.

Ідеальна сепараційна крива має ступінчастий вигляд. Реальна сепараційна характеристика лише наближається до ідеальної, зростаючи від 0 до 1. Чим більше кут її нахилу, тим сепараційна характеристика ближче до ідеальної, отже, процес розподілу більш ефективний. Таким чином, параметри сепараційних характеристик можуть бути запропоновані в якості критеріїв оцінки ефективності розділення шламу в магнітному полі.

Література

1. Майстренко, А.Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах / А.Л. Майстренко. — К. : Наук. думка, 2014. — 342 с.
2. Тихонов, О.Н. Закономерности эффективного разделения минералов в процессах обогащения полезных ископаемых / О.Н. Тихонов. — М. : Недра, 1984. — 208 с.
3. Майстренко, А.Л. Характеристики порошку алмазу, який застосовують в КАМ для руйнування гірської породи та шламу руйнування /

А. Л. Майстренко, Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька и др. // Зб. наук. праць Міжнарод. наук. конф. «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», 18–19 грудня 2019 р. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – С. 25–28.

4. Шульженко, А.А. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А.А. Шульженко, Е.Е. Ашкинази, Р. К. Богданов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 214–223.

5. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 9 с.

Мироненко С.В., Волобуєва Т.В. Венгер А.С.
Одеський автомобільно-дорожній фаховий
коледж ОНПУ, Одеса, Україна

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НАСЕЛЕННЯМ УКРАЇНИ

Транспортне переміщення – єдина щоденна фаза в житті кожної людини, яка має спільні принципи соціальної взаємодії в суспільстві при задоволенні транспортних потреб. Індивідуальний транспорт, покликаний бути ефективним засобом поліпшення якості життя, перетворився в свою повну протилежність і став однією з основних причин, що викликають глобальну кризу сталого функціонування міського середовища. Серйозні фінансові впливання в розвиток мережі вулиць і доріг не дають позитивного ефекту. Сучасне становище в транспортному обслуговуванні міського населення викликає занепокоєння і критику, стратегічною метою оголошуються зменшення залежності від автомобіля (Automobile Dependency) і розвиток громадського пасажирського транспорту. Техніко-економічні та містобудівні прогнози показують, що подальше зростання рівня автомобілізації при збереженні колишнього рівня використання легкового автомобіля вимагає дуже дорогої транспортної інфраструктури (реконструкція вулично-дорожньої мережі (ВДМ), місць для паркування, відторгнення міських територій).

Вибір засобів пересування являє собою сукупність різнорідних, взаємодіючих між собою елементів, пов'язаних спільною метою функціонування, тобто має ознаки складних систем. Виходячи з цього, загальна методологія дослідження базується на використанні принципів побудови і дослідження моделей складних систем. Результати дослідження піддаються статистичному аналізу за допомогою методів теорії ймовірностей і математичної статистики. Для прогнозування використовується регресійний аналіз. Сучасні методи експертних оцінок групи експертів допомагають зменшити суб'єктивність індивідуальної оцінки, тому в дослідженні нашої проблеми цей метод найкращий в аналізі апріорної інформації. Він заснований на використанні думок групи експертів – ерудованих фахівців, добре обізнаних в досліджуваній області.

Параметри, внесені в анкети для визначення значущості факторів, розташовані з використанням методу рандомізації (процес випадкового розподілу учасників експерименту по групах), що усуває суб'єктивізм експерта у перевазі того чи іншого параметра в залежності від його місця в анкеті. У роботі був обраний індивідуальний очний метод опитування. З кожним експертом попередньо проведений інструктаж і пояснення цілей і завдань проведеної дослідницької роботи. Експертам потрібно було провести процедуру упорядкування факторів, що впливають на вибір виду громадського транспорту. Анкета представлена у табл. 1.

Таблиця 1 – Фактори, що впливають на вибір засобів пересування

№ п/п	Фактори	Умовні позначення
1	«Морально» застарілий рухомий склад	X_1
2	Висока вартість проїзду для пільгових категорій населення	X_2
3	Не іміджевий вид транспорту	X_3
4	Низька кваліфікація водіїв	X_4
5	Не відповідність кількості громадського транспорту – попиту	X_5
6	Відсутність електронного квитка	X_6
7	Не адаптований для населення з обмеженими можливостями	X_7
8	Низька швидкість сполучення	X_8
9	Відсутність виділених окремим смуг для громадського транспорту	X_9
10	Шкідливий вплив на навколишнє середовище	X_{10}

Експерти привласнюють кожному фактору свій ранг в залежності від рівня його значущості, використовуючи числа натурального ряду 1, 2, 3, 4 і так далі. Причому, чим менше ранг, тим важливіше фактор. За результатами ранжування сформовано матрицю експертних оцінок. Величина коефіцієнта конкордації коливається в межах від 0 до 1. При нульовому значенні коефіцієнта зв'язок між оцінками різних експертів відсутній, тобто відсутня узгодженість думок. Якщо значення дорівнює одиниці, то думки експертів повністю збігаються. Для спрощення прийнято вважати думки експертів узгодженими за $W > 0,5$ і добре узгодженими, якщо $W > 0,7$ (тобто, згідно отриманих результатів, $W = 0,50 > 0$ – це свідчить, що думки експертів узгоджені. Для оцінки значимості коефіцієнта конкордації використовується критерій Пірсона χ^2 . Значення критерію χ^2 визначається за формулою (1):

$$\chi_p^2 = m \cdot (k - 1) \cdot W, \quad (1)$$

де m – кількість опитаних експертів відповідної категорії; k – кількість запропонованих факторів.

Значення критерію χ^2 становить:

$$\chi_p^2 = 10 \cdot (10 - 1) \cdot 0,50 = 38,59$$

Число ступенів свободи складає: $f = m - 1 = 10 - 1 = 9$. Відповідно, нормативне значення критерію Пірсона, при 9 ступенях свободи та 5% рівні значимості, складає: $\chi_{\text{табл}}^2 = 19,62$. При порівнянні значень критерію Пірсона, нормативного та розрахункового, враховували вимогу: $\chi_{\text{табл}}^2 < \chi_p^2$. В нашому випадку значення складає $19,62 < 38,59$ тобто вимога виконується. А це значить, що з 95% довірчою імовірністю можна стверджувати, що думки експертів узгоджуються не випадково. Відповідно до розрахунків було визначено найбільш важливі фактори, тобто домінуючі, а саме: «морально» застарілий рухомий склад (X_1) та відсутність виділених окремим смуг для громадського транспорту (X_9). Безумовно група факторів, які відносяться до суттєвих теж важливі, і більшість з них необхідно враховувати при організації руху громадського транспорту.

В даний час в зарубіжній практиці розвивається система HOV-high occupancy vehicles – транспортні засоби, що використовуються більш ніж 2–3 особами, включаючи водія. В даному контексті смуги для руху маршрутного пасажирського транспорту є одним з видів смуг HOV.

До засобів забезпечення пріоритетних умов руху транспорту HOV (в тому числі маршрутного пасажирського) віднесені:

- окремі проїзні частини, що виділяються дорожніми огороженнями або трасуються самостійно від основної проїзної частини;

- виділяються розміткою або кольором покриття смуги тільки для транспорту HOV;
- пріоритет руху громадського транспорту на регульованих перехрестях;
- проектування зупиночних пунктів великої пропускної здатності.

До засобів забезпечення пріоритету відносять і влаштування відокремленого полотна для трамвайного руху. Також необхідно оновлювати рухомий склад з урахуванням соціальних потреб населення та екологічних вимог у відповідності до сучасних нормативів. Використання електронних квитків дозволить більш детально оцінювати пасажиропотік. Всі ці заходи в комплексі призведуть до підвищення іміджу громадського транспорту і як наслідок – збільшення попиту у населення. Рекомендований комплекс заходів для підвищення попиту на громадський транспорт запропонований з метою покращення рівня транспортного обслуговування населення, поліпшення екологічної обстановки та безпеки руху.

Література

1. Трофименко, Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М. Р. Якимов. – М. : Логос, 2013. – 464 с.
2. Михайлов, А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
3. Варелопуло, Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. – М. : Транспорт, 1990. – 208 с.
4. Гудков, В.А. Качество пассажирских перевозок : возможность исследования методами социологии. / В.А. Гудков, М.М. Бочкарёва, Н.В. Дулина // ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 163 с.
5. Спирин, И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного парка: автореф. дис. д-ра техн. наук / И.В. Спирин. – М., 2007. – 38 с.
6. Общая теория статистики : учебник / под ред. И. И. Елисеевой. – М. : Финансы и Статистика, 2002. – 480 с.
7. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для вузов. / Н.Ш. Кремер. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 543 с.
8. Волобуєва, Т.В. Експертна оцінка чинників, які впливають на підвищення рівня професійної підготовки водіїв при навчанні в автошколі / Т.В. Волобуєва // Вісник СНУ ім. Володимира Даля, Луганськ. – 2013 – №15 (204), ч. 2. – С. 174–178.

Опарина И.Б., Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова РАН, Москва, Россия
Шкурко В.В., Хейфец И.М. Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси, Минск, Беларусь

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ

В настоящее время системы контроля и управления строятся как открытые платформы с возможностью наблюдения, контроля и управления оборудованием, а также оповещения оператора. Набор опций системы каждый разработчик формирует по своему усмотрению с учетом их значимости.

Для установки индукционной пайки потребовалось разработать автономную автоматизированную систему удаленного мониторинга и управления технологическим процессом. В этой связи было необходимо выбрать технические средства и устройства обработки информации для конкретного процесса и подготовить программное обеспечение для выбранных устройств обработки информации.

При разработке технического задания на проектирование системы автоматизации учитывались технологические задачи: проведение пайки в вакууме и в газовой среде; охлаждение изделия в защитной атмосфере; выбор времени охлаждения; прижим частей изделия с заданным усилием; выбор полного цикла времени работы.

Проектирование системы управления. Основу системы управления составляет панельный контроллер СПК107 с сенсорным дисплеем. Контроллер может устанавливаться либо на самой установке, либо в шкафу управления. Он удобен тем, что объединяет в одном корпусе функции программируемого контролера с панелью оператора.

Контроллер соединяется с компьютером по Ethernet. В SCADA-системе на персональном компьютере (ПК) создаются мнемосхемы для отображения основных показателей. Например, демонстрируется на какой стадии исполнительная программы в данный момент времени находится процесс, или в какой среде происходит пайка.

Мониторинг работы можно вести не только на ПК, но и в облачном сервисе, например в OwenCloud. Сбор данных с датчиков (давление, разряжение, положение) и кнопок управления осуществляется модулями аналогового ввода MB110-224.8A и модулями дискретного ввода MB110-224.16ДН по интерфейсу RS-485.

Управление пневматическими исполнительными механизмами, системой вакуумной откачки и напуска газа ведется с помощью модулей аналогового вывода МУ110-224.8И и модулей дискретного вывода МУ110-224.16Р. Модули и источник питания соединены с панельным контроллером интерфейсом RS-485. Обмен данными осуществляется по протоколу Modbus RTU. Источником питания высокой частоты управляет контроллер. Структурная схема разработанной системы контроля и управления показана на рис.1.



Рис. 1 – Структурная схема системы контроля и управления процессом пайки

На экран СПК107, как в SCADA-системе, могут выводиться мнемосхемы управления камерой, пневматической системой, системой вакуумной откачки и источником питания высокой частоты. Всплывающие окна содержат подсказки, отображается текущий этап, состояния и положения устройств и механизмов. Контроллер имеет возможность архивировать события, настройки параметров технологического процесса (время пайки, остаточное давление в камерах и т.д.).

Установка может работать как в ручном, так и в автоматическом режимах. Переключение режимов осуществляется при помощи виртуального переключателя. Для возможности оперативного управления часть функций дублируется устройствами MeyerTec – кнопками управления, сигнальными лампами, джойстиком. Система управления обеспечивает: сбор технологических параметров от первичных преобразователей; архивирование параметров; удаленный мониторинг; аварийный режим.

Проектирование технологического цикла. Процесс пайки начинается с загрузки заготовок и припоя в индуктор камеры. Запускается ва-

куумный насос, камера герметизируется, заготовки сдавливаются пневматическим прижимом, и выполняется вакуумная откачка. Остаточное давление в камере контролируется и регистрируется датчиком разряжения, сигнал с которого поступает в систему управления. При достижении заданного уровня разряжения происходит контролируемый напуск защитного газа до установленного давления, после чего начинается процесс пайки. Одновременно с ведением технологического процесса на первом посту идет подготовка к работе на втором.

После пайки камера через специальные клапаны продувается инертным газом, с прижимных цилиндров снимается давление, и изделие высвобождается. Готовое изделие извлекается и загружаются новые. Выбирается время цикла. Отладка новой технологии осуществляется в ручном режиме. На мнемосхемах настраиваются новые элементы: кнопки управления механизмами, локальными системами.

Т.о., на основании выбора технических средства и устройств обработки информации для процесса индукционной пайки, подготовлено программное обеспечение контроля и диагностики процесса, и разработана автономная автоматизированная система удаленного мониторинга и управления технологическим процессом. В результате на базе микропроцессорных средств управления создана полнофункциональная система контроля и управления сложным объектом - установкой индукционной пайки, обеспечивающая автоматизацию технологического процесса с высокой степенью надежности и возможностью удаленного мониторинга.

*Островерх Є.В., Ромашов Д.В., Федорович В.О.
НТУ "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ НАДШВИДКІСНОГО АЛМАЗНОГО ЗАТОЧУВАННЯ НТМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДИКИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Шорсткість поверхні є одним з важливих показників якості інструменту. Важливим завданням сучасного машинобудування є підвищення економічної ефективності обробки (заточення) інструменту з НТМ. Для цього необхідно забезпечити високу продуктивність обробки при заданому рівні якості поверхневого шару оброблюваного інструменту. Од-

ним із шляхів підвищення продуктивності є вибір оптимальних режимів різання, що забезпечують високу швидкість обробки й необхідну якість поверхні й поверхневого шару.

Результати фундаментальних теоретичних і експериментальних досліджень виконаних в області абразивної обробки, наочно демонструють, що ефективність процесу шліфування суттєво залежить від швидкості різання [1–4]. Наприклад, відомо, що з її ростом зменшується товщина зрізу матеріалу кожним абразивним зерном, змінюються умови стружкоутворення й ще цілого ряду параметрів процесу обробки [1, 2]. При обробці надтвердих полікристалів і твердих сплавів алмазними кругами, характерним є підвищення різальної здатності круга зі збільшенням окружної швидкості. Це пояснюється зміною виду зношування алмазних зерен. При надвисоких швидкостях (вище 180 м/с) відбувається не стирання алмазних зерен, а їх мікросколювання з утвором гострих ріжучих мікро- і субмікрокрайок, що сприяє зменшенню величин сил різання [4, 5].

Виходячи з особливостей синтетичних алмазів як інструментального матеріалу, а так само процесів формоутворення інструментів на їхній основі, був визначений методологічний підхід до проведення досліджень. Оскільки кількісний аналіз процесу високошвидкісного заточення й термоактивованої доводки лезового інструменту із синтетичного алмазу вимагає оцінки інтенсивності зношування алмазних зерен, обсягу вилученого матеріалу і якості отриманої оброблюваної поверхні синтетичного алмазу, застосовували сучасний метод лазерного сканування, що дозволяє визначати параметри 3D топографії робочої поверхні круга й обробленої поверхні синтетичного алмазу. Дослідження 3D топографії робочої поверхні круга й поверхні синтетичного алмазу проводилося на лазерному сканувальному приладі «Perthometer S8P» з лазерним датчиком моделі FOCODYN.

Аналіз репліки (NEG) робочої поверхні круга (рис. 1) показує, що основна маса зерен випадає із зв'язки тільки в перші секунди шліфування, тобто параметри негатива РПК у виступаючій частині практично однакові для трьох секунд і двох хвилин. Можна затверджувати, що після трьох секунд шліфування основне зношування зерен відбувається за рахунок їх крихкого мікроруйнування, а не випадання із зв'язки.

Контроль якості поверхні деталей при обробці шліфуванням є актуальним завданням. Це пов'язано в першу чергу з тим, що шліфування є фінішною обробкою й поява браку на даній операції зводить нанівець усі зусилля по підвищенню якості на попередніх операціях. Тому контроль шорсткості поверхні є актуальним напрямком розвитку автоматизованих систем управління технологічними процесами.

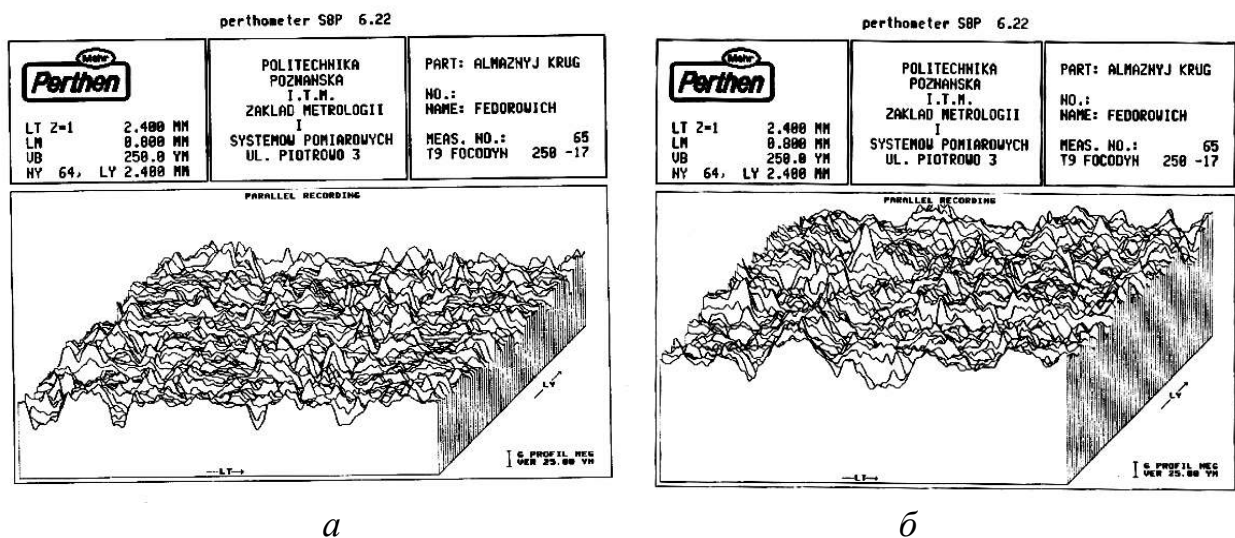


Рис. 1 – Негатив 3D топографії робочої поверхні круга: *а* – після 10 секунд шліфування; *б* – після двох хвилин шліфування

Алгоритм здійснення кількісної оцінки результатів термоактивної доводки полягає в наступному: визначення параметрів 3D топографії оброблюваної поверхні синтетичного алмазу (СА); визначення параметрів 3D топографії робочої поверхні круга – РПК (інструменту); визначення фактичної площі контакту в системі «РПК–СА»; розрахунки інтенсивності термоактивної доводки оброблюваної поверхні синтетичного алмазу.

Література

1. Kundrak, J. Some aspects of the hard machining of bore holes / J. Kundrak, G. Varga, I. Deszpoth, V. Molnar // Appl. Mech. and Mat. – 2013. – 309. – P. 126–132.
2. Barlow, N. 1996, Mechanical Design of High-Speed Vitrified cbn Grinding Wheels / N. Barlow, M. Jackson, M. Hitchiner // Proc. Of IMEC. – USA :,Univ. of Connecticut, 1996. – P. 568–570.
3. Jackson, M. J. High-Speed Grinding with c.B.N. Grinding Wheels – Applications and Future Developments / M. J. Jackson, C. J. Davis, M. P. Hitchiner, B. Mills // J. of Mat. Proc. Technol. – 2001. – 110. – P. 78–88.
4. Li, Wei. Investigation of machining and wear performance of various diamond micro-grinding tools / Wei Li, Yinghui Ren, Chenfang Li, Zhipeng Li // Inter. J. of Advanc. Manufact. Technol. – 2020. – 106(3-4). – P.10–15.
5. Kramer, D. Echenfangw Method for Grinding of Modern High Performance Cutting Materials to Highest Quality / D. Kramer, F. Rehsteiner, B. Schumacher // Annals of the CIRP. – 1999. – 48/1. – P. 265–268

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І. Національний
транспортний університет, Київ, Україна
Мельник Т.В. Національний технічний університет
"ХПІ", Харків, Україна

ТИТАН ТА ЙОГО СПЛАВИ У ВИРОБАХ МАШИНОБУДУВАННЯ

Завдяки своїм унікальним властивостям порівняно з іншими конструкційними матеріалами – малій питомій вазі, високим механічним властивостям у широкому температурному інтервалі, відсутності холодноламкості та добрій корозійній стійкості, титан використовується при виготовленні ряду виробів машинобудування. Титан отримав свою назву на честь титанів у грецькій міфології – могутніх дітей Урану (Неба) та Геї (Землі). У чистому вигляді як хімічний елемент титан було отримано у 1825 р.

Технологія. Вихідним продуктом для отримання металічного титану на сьогодні є чотирьоххлористий титан – рідина без кольору, що кипить при 136°C. Як відновлювачі при цьому застосовуються магній або натрій. У результаті відновлення отримують губчастий титан, що добре спресовується у витратні електроди. Потім останні переплавляються у вакуумних дугових печах у зливки. Якщо при цьому потрібно отримати титанові сплави, то при переплавленні додають легуючі елементи.

Фізичні та хімічні властивості. Титан знаходиться у четвертій групі періодичної системи під № 22 і має атомну вагу 47,90. Існує у двох алотропічних модифікаціях – низькотемпературний α -титан з ГП-граткою і високотемпературний β -титан із ОЦК-граткою. Температура поліморфного перетворення $\alpha \leftrightarrow \beta$ складає 882°C. Проте можна отримати β -гратку і при більш низьких температурах шляхом легування титану металами β -стабілізаторами (молібден, ванадій, марганець, хром, залізо). Можна розширити і температурний інтервал існування α -титану легуванням останнього алюмінієм, киснем і азотом, що підвищує температуру поліморфного перетворення. Це – α -стабілізатори. Температура плавлення титану 1665 °C, а густина – 4,5 г/см³.

Помітна взаємодія титану з киснем повітря починається при температурах понад 600 °C, з азотом – понад 700 °C. При температурах 300 °C швидкість поглинання водню титаном є максимальною. Цей елемент є шкідливим, оскільки викликає окрихчення титану. Видалення шкідливого водню досягається вакуумним відпалом.

Титан і його сплави не кородують у атмосфері повітря, кислотах, морській воді. Стійкій до газової корозії. Проте має понижено корозійну стійкість у плавиковій та концентрованих сірчаній і азотній кислотах.

Висока корозійна та хімічна стійкість титану обумовлені утворенням міцної та щільної плівки оксиду TiO_2 на поверхні в умовах атмосфери. Ця плівка забезпечує високий опір корозії більш, ніж у 130 агресивних середовищах.

Маркування. Технічний титан маркується літерами ВТ (вакуумний титан) та умовними цифрами:

- ВТ1–0 (сумарний вміст домішок $\leq 0,55\%$),
- ВТ1–00 (сумарний вміст домішок $\leq 0,40\%$).

З підвищенням вмісту домішок міцність титану зростає, а пластичність знижується.

У промисловості набагато ширше, ніж технічний титан, використовуються титанові сплави. Ці сплави маркуються літерами ВТ, за котрими йдуть цифри, перша з них – середня кількість алюмінію у відсотках. Цей елемент є у всіх титанових сплавах, зменшуючи густину та покращуючи властивості при кімнатній температурі і нагріванні. Інші цифри є умовними: ВТ5 (5% алюмінію), ВТ5–1 (5% алюмінію; 2,5% олова).

Для деяких сплавів і перша цифра не відповідає кількості алюмінію, наприклад, ВТ14 (5% алюмінію; 1,3% ванадію; 3% марганцю). У ливарних сплавах до марки у кінці додається літера Л (ВТ6Л).

Хімічний склад та механічні властивості деяких титанових сплавів. Для підвищення механічних властивостей титанових сплавів додають наступні легуючі елементи: алюміній, хром, марганець, молібден, залізо, олово. Легуючі елементи можуть утворювати з титаном: тверді розчини заміщення, інтерметалідні фази, карбіди. При охолодженні у твердому стані можуть відбуватись евтектоїдні перетворення. Хімічний склад та механічні властивості деяких титанових сплавів наведені у табл. 1 [1].

Класифікація та використання промислових титанових сплавів. Титанові сплави класифікують за: технологією виготовлення (деформівні, ливарні, порошкові); здатністю зміцнюватися термічною обробкою (зміцнювані та не зміцнювані); механічними властивостями (сплави нормальної міцності, високоміцні, жароміцні, високопластичні); структурою у рівноважному стані після відпалу або після гартування.

У відпаленому стані сплави поділяються на однофазні (зі структурою α - або β -твердого розчину) та двофазні (з $\alpha+\beta$ структурами). Сплави $\alpha+\beta$ мають більш високі механічні властивості, ніж однофазні сплави, добре куються та штампуються і зміцнюються термічною та хіміко-термічною обробкою. Титанові сплави піддають таким видам обробки:

рекристалізаційному відпалу; відпалу з фазовою перекристалізацією; гартуванню з наступним старінням; безводневому азотуванню; холодній пластичній деформації; обробці різанням. Що стосується безводневого азотування, то цей процес краще виконувати у камерах з атмосферою азоту шляхом нанесення нітридних покриттів на титанові сплави (метод PVD) [2]. При цьому важливою проблемою є попереднє усунення пасивуючої оксидної плівки на виробах з низькою поверхневою енергією, яка не забезпечує необхідної адгезії покриттів з основою. Що стосується обробки різанням, то її слід поєднувати з попереднім холодним пластичним деформуванням [3]. Це значно поліпшить оброблюваність титанових сплавів різанням.

Таблиця 1 – Хімічний склад і властивості α та $\alpha + \beta$ титанових сплавів

Марка сплаву	Тип структури	Вміст елементів, мас. част. %					σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KSU , МДж/м ²
		Al	Cr	Mn	Mo	V					
BT5	α	4,0–5,5	–	–	–	–	800–950	700–850	12–25	30–45	0,3–0,6
BT3	$\alpha + \beta$	4,0–6,2	2–3	–	–	–	950–1150	850–1050	10–16	25–40	0,3–0,6
BT3-1			1,5–2,5	–	1,0–2,8	–	950–1200	850–1100			0,3–0,6
BT4		4,0–5,0	–	1,0–2,0	–	–	800–900	700–800	15–22	20–30	–
BT6		5,0–6,5	–	–	–	3,5–4,5	900–1000	800–900	8–13	30–45	0,4–0,8
BT8		5,8–6,8	0,6–1,2	–	2,8–3,8	–	1050–1180	950–1100	9–15	30–55	0,3–0,6

Деформівні сплави випускаються у вигляді поковок, штамповок, листів, стрічок, дроту, смуг, труб. До деформівних сплавів належать однофазні α -сплави та двофазні $\alpha + \beta$ сплави. З однофазних найпоширенішим є BT5. З цього сплаву обробкою тиском виготовляють різноманітні напівфабрикати (прутки, труби, дріт) та деталі, що експлуатуються в діапазоні від криогенних температур до 500 °С. Сплави цієї групи добре зварюються і задовільно обробляються різанням. У процесі холодної пластичної деформації сильно наклепуються. Однофазні сплави не зміцнюються термічною обробкою.

Властивості двофазних сплавів залежать від кількості β -фази. При малому її вмісті (до 5%) покращується пластичність, що дозволяє обро-

блювати сплави тиском у холодному стані (сплави ОТ4–0, ОТ4–1 з вмістом алюмінію до 2,5%). С підвищенням вмісту алюмінію (ОТ4–2) або при легуванні церієм (ВТ20) зменшується пластичність, але збільшується міцність і особливо жароміцність. Недоліком цих сплавів є значні схильність до водневої крихкості. Сплави цієї групи практично не зміцнюються термічною обробкою.

Двофазні сплави (від 5 до 50% β -фази) мають вищу питому міцність, яка поєднується з доброю пластичністю та здатністю зміцнюватися термічною обробкою (гартуванням з наступним старінням). Ефект зміцнення зростає зі збільшенням легувальних елементів. Прикладами таких сплавів є ВТ6, ВТ3–1, ВТ14, ВТ16. Сплав ВТ22 (по 5% Al, V та по 1% Cr і Fe) завдяки більшому вмісту у структурі β -фази навіть після відпалу має міцність, сумірну з міцністю деяких сплавів у термозміцненому стані. Оскільки зміцнювальна термічна обробка внаслідок низької прогартуваності титанових сплавів є малоефективною для крупногабаритних виробів, при їх виробництві перевагу надають сплавам цього складу після відпалу.

Двофазні сплави мають високу пластичність як після відпалу, так і після гартування. Після старіння їх пластичність дещо знижується, але при цьому зростають міцність і жароміцність. Вони краще за α -сплави деформуються тиском, менше схильні до водневої крихкості, задовільно обробляються різанням та зварюються. Після зварювання необхідно проводити відпал для збільшення пластичності зварного шва.

Ливарні сплави. До них належать $\alpha+\beta$ -сплави (ВТ1Л, ВТ4Л, ВТ6, ВТ14Л), за хімічним складом близькі до деформівних, а також деякі спеціальні сплави для фасонного лиття. Ці сплави мають добрі ливарні властивості (не велику усадку, високу рідкотекучість, малу схильність до утворення гарячих тріщин). Механічні властивості ливарних титанових сплавів нижчі, ніж деформівних аналогічного хімічного складу. Фасонні виливки отримують при литті в металеві або оболонкові форми обов'язково у захисній атмосфері (через схильність сплавів до поглинання газів). Зміцнювальна термічна обробка для них не застосовується, оскільки вона погіршує пластичність.

Порошкові сплави. Методом порошкової металургії виготовляють шатуни двигунів, кільця компресорів, дрібні автомобільні деталі, фільтруючі елементи, які широко використовуються у нафтохімічній промисловості. Титанові фільтри застосовують при фільтрації води, ацетилцелюлози у виробництві ацетатного шовку, для очищення азоту при виробництві поліетилену, для тонкої фільтрації азотної кислоти. Методом порошкової металургії виготовляють корпуси підшипників, запірні кільця

та лопатки компресора турбодвигунів, фітинги, що використовують у хімічній промисловості та які удвічі дешевші, ніж виготовлені куванням.

Висновок. Титанові сплави використовуються у різних галузях промисловості: аерокосмічній, суднобудівній, хімічній, харчовій, машинобудівній тощо. Титан застосовують там, де домінуючу роль грає мала вага виробів, насамперед у ракетобудуванні та будуванні літаків. Використання титанових сплавів особливо доцільно в інтервалі температур 250–500 °С, коли легкі алюмінієві та магнієві сплави вже не можуть працювати, а сталі і нікелеві сплави поступаються титановим за питомою міцністю. Титан має високу сумісність з тканинами організму людини [4]. Це біологічно інертний матеріал у агресивних середовищах.

Література

1. Сушко, О.В. Прикладне матеріалознавство : підручник / О.В. Сушко, Е.К. Посвятенко, С.В. Кюрчев, С.І. Лодяков. – Мелітополь : ТОВ "Forward press", 2019. – 352 с.
2. Ющенко, К.А. Інженерія поверхні : підручник / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К. : Наук. думка, 2007. – 559 с.
3. Посвятенко, Е.К. Протягування та протяжний інструмент / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, І.В. Шепеленко. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. – 298 с.
4. Титан в медичних парах тертя / під ред. В.Ю. Дьоміна, С.Є. Шейкіна. – К. : Логос, 2019. – 146 с.

Рябченко С.В. Институт сверхтвёрдых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ ИЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДА

Из всего многообразия абразивных материалов, из которых изготавливаются шлифовальные круги особое место принадлежит электрокорунду. Электрокорунд – абразивный материал, состоящий из корунда и небольшого количества примесей. Промышленность производит различные виды электрокорунда: нормальный, белый, хромистый, титанистый, циркониевый, монокорунд и различные смеси корундов. Очень перспективным абразивным материалом для кругов является хромистый электрокорунд (табл. 1).

Таблица 1 – Основные физико-механические свойства абразивных материалов

Электрокорунд	Микро твердость кгс/мм ²	Плотность г/см ³	Абразивная способность	Насыпная масса, г/см ³	Теплоустойчивость, °С
Нормальный	1900–2000	3,90	0,145	1,76	1700–1800
Белый	2000–2100	3,95	0,156	1,73	
Хромистый	2000–2200		0,101	1,77	
Титанистый	2200–2300		0,112	1,70	
Цирконистый	2300–2400	4,10	0,130	1,90	1900–2000
Монокорунд		3,97	0,150	1,99	1700–1800

Одним из наиболее эффективных технологий применения кругов из хромистого корунда является шлифование закаленных зубчатых колес различными методами (тарельчатые, конические и профильные круги).

Испытания тарельчатых кругов из хромистого электрокорунда А98 60К 8V на зубошлифовальных станках фирмы "MAAG" HSS-30 были проведены в условиях ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» и ПАО «Мотор-Сич» (г. Запорожье). Результаты испытаний показали, что производительность обработки зубчатых колес кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,3 раза по сравнению с кругами из белого электрокорунда, применяемого до этого на предприятиях. При этом сохраняется необходимая точность эвольвентного профиля зуба и качество обработанной поверхности.

Шлифование зубчатых колес коническими кругами из хромистого электрокорунда было проведено на зубошлифовальном станке «Niles-ZSTZ» в условиях АО «АЗОВОБЩЕМАШ» (г. Мариуполь) и предприятия ХЗТМ (г. Харьков). Использовались конические круги из хромистого электрокорунда диаметрами 300–400 мм. Результаты испытаний, показали, что производительность обработки коническими кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,5 раза по сравнению с коническими кругами из белого электрокорунда.

Нами проведено испытание кругов из хромистого корунда при профильном шлифовании зубчатых колес на станке модели HÖFLER RAPID 1500 в условиях завода «МАГМА» (г. Мариуполь). Для испытаний мы использовали конические шлифовальные круги из хромистого корунда (А89 60 К 9 V) диаметром 400 мм с углом конуса 40 и 60°. Результаты испытаний, показали, что производительность обработки ко-

ническими кругами из хромистого электрокорунда повышается в 1,5 раза по сравнению с коническими кругами из белого электрокорунда.

Аналогичные испытания абразивных кругов из хромистого корунда (A98 46 L 9 V) диаметром 400 и 450 мм, были проведены при профильном шлифовании крупномодульных зубчатых колес ($m = 10$ мм) на станке «KAPP-NILES» модель ZP12 в условиях предприятия ЧАО «НКМЗ» (г. Краматорск). Результаты испытаний показали значительное преимущество шлифования кругами из хромистого корунда по сравнению к кругам из белого корунда.

*Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Веремейчик А.И.,
Кондратюк В.О., Старикиевич М.О.* Брестский
государственный технический университет,
Брест, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ДРОБИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ОБЪЕМНОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ

При использовании установок для дробления древесных отходов мебельного и других производств применяются детали (ножи) в виде усеченной пирамиды из стали 40Х. Такие детали упрочнялись с помощью объемной закалки. В процессе эксплуатации ножи подвергались механическому изнашиванию и воздействию динамических нагрузок, в результате чего происходил не только интенсивный износ их режущей части, но и выламывание кусков металла. Такой вид разрушения характерен при упрочнении объемной закалкой и обусловлен возникновением в металле значительных механических напряжений и охрупчивания стали.

Чтобы исключить возникновение таких дефектов в материале, предложено использовать локальную поверхностную закалку режущей кромки дробильного инструмента движущейся плазменной дугой.

Проведено исследование износа ножей после двух видов термообработки. Для определения степени износа выбирались две партии по пять деталей, упрочненных объемной закалкой и упрочнением с помощью плазменной дуги, которые соответствовали следующему времени эксплуатации: № 1 – базовая деталь (неэксплуатируемая); № 2 – после месячной эксплуатации; № 3, № 4, № 5 – после 2-х, 3-х, 4-х месячной эксплуатации соответственно.

Сравнительные измерения профиля детали выполнялись на измерительном комплексе с лазерным сканированием Mistral 070705 фирмы BROWN&SHARPE с программным обеспечением PC-DMIS PRO Software, позволяющего производить контроль в 3D с предоставлением протоколов контроля. По результатам измерений определялась форма детали и результаты обрабатывались программой SolidWorks, с помощью которой строилась трехмерная модель детали (рис. 1).

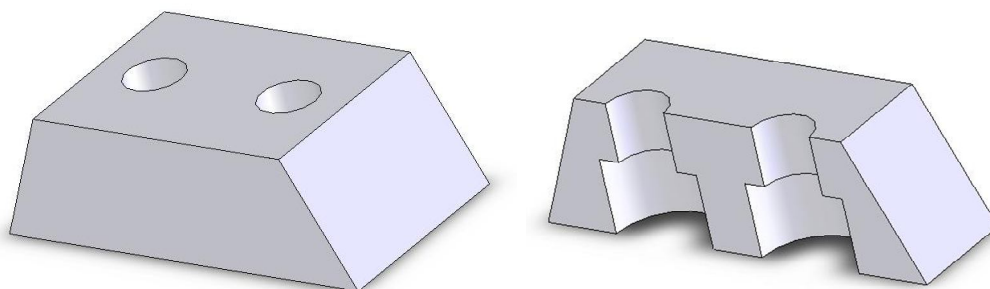


Рис. 1 – Компьютерная модель ножа

Далее деталь разделялась плоскостями $A-D$ на части, с выделением плоскостью T исследуемого фрагмента (рис. 2).

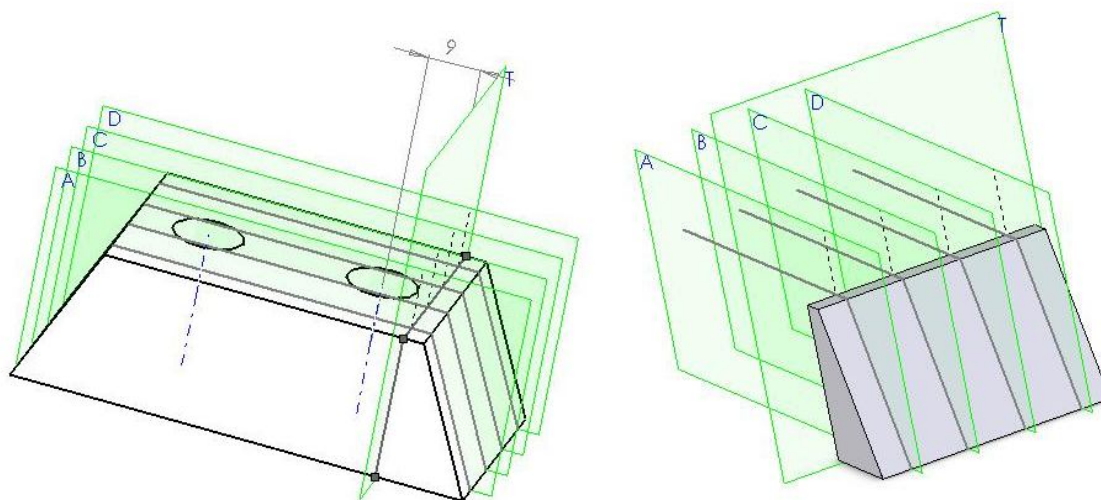


Рис. 2 – Положение плоскостей для анализа исследуемого фрагмента

На сгенерированных кривых были построены поверхности, на основе которых созданы элементы анализируемых частей детали. Используя плоскости $A-D$, построены плоские элементы соответствующих фрагментов деталей. С помощью программы AutoCAD вычислены площади рассматриваемых элементов. Для вычисления параметра износа детали использовалась формула:

$$\Phi_{nm} = \frac{S_{1m} - S_{nm}}{S_{1m}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где Φ_{nm} – относительный процент износа детали, S_{nm} – площадь анализируемого сечения для соответствующей детали n в соответствии с плоскостью m ; n – номер детали ($n = 1-5$), m – наименование соответствующей плоскости ($m = A, B, C, D$).

На основании полученных данных построены зависимости относительного износа деталей, упрочненных объемной закалкой и поверхностной плазменной закалкой (рис. 3).

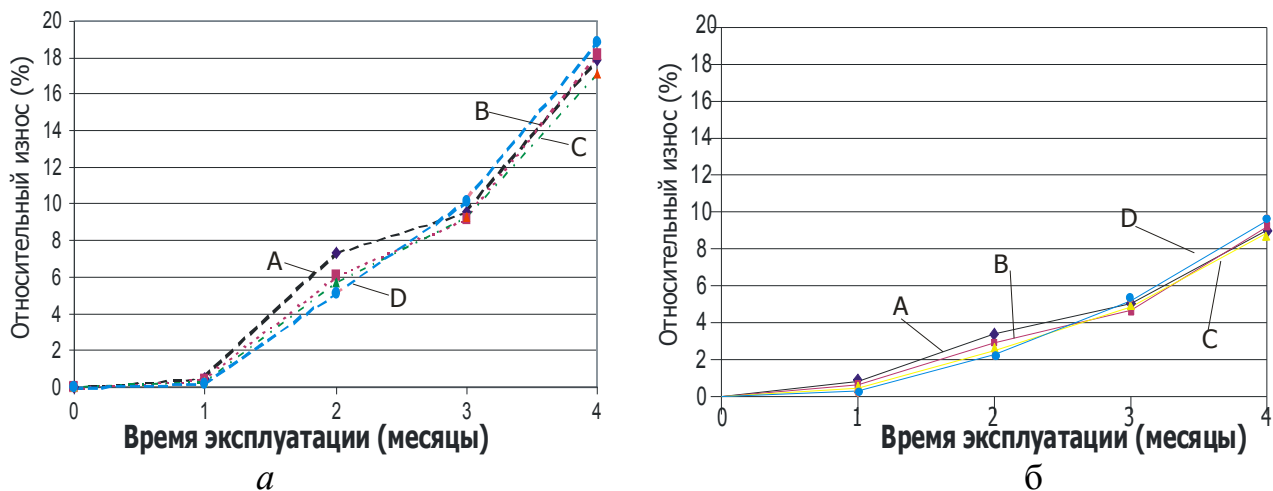


Рисунок 3 – Графики износа ножей, упрочненных:
 а – объемной закалкой; б – поверхностной плазменной закалкой

Срок эксплуатации дробильного инструмента после поверхностной плазменной закалки увеличен в 2,1 раза по сравнению с объемной закалкой.

*Сахнюк І.О., Битков М.Х., Рудак Н.П.,
 Поліщук Р.Ю. Технічний центр НАН України,
 Київ, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В НАУКОВИХ УСТАНОВАХ

Підходи щодо застосування вимог національного стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001: 2015, IDT) «Системи управління якістю. Вимоги» у сфері наукової та науково-технічної діяльності були запропоновані авторами до розгляду на 20 Міжнародній науково-технічній конференції «Інженерія поверхні і реновація виробів» (M20–2). Національний стандарт ДСТУ ISO 9001 містить узагальнені вимоги

до системи управління якістю (СУЯ), на основі яких можуть функціювати будь-які підприємства і організації. Цей стандарт рекомендує застосовувати процесний підхід як один з основних принципів управління якістю. Такий принцип може гарантувати відстеження за розроблянням, виготовлянням та контролюванням наукової (науково-технічної) продукції протягом усього терміну її створення.

У розвиток питання особливості побудови і впровадження системи управління якістю в наукових установах основну ідею процесного підходу можна звести до такого:

- діяльність наукової установи та її підрозділів необхідно представити системою взаємопов'язаних та взаємодіючих між собою процесів;
- управління діяльністю наукової установи та її підрозділами ґрунтуються на управлінні системою процесів.

Загальними аспектами впровадження процесного підходу є:

- визначання та описування усіх процесів у загальній схемі процесів СУЯ установи (підрозділу);
- визначання послідовності та порядку взаємодії усіх процесів;
- чітке розподілення відповідальності керівників за кожний процес загальної схеми процесів СУЯ;
- визначання критеріїв та методів, необхідних для забезпечення результативності функціонування процесів та керування ними;
- забезпечення наявності ресурсів та інформації, необхідних для функціонування та моніторингу процесів;
- розробляння та затвердження документації СУЯ, що формалізує всі роботи системи;
- визначання показників моніторингу та методик їх вимірювання;
- здійснювання моніторингу вимірювання та аналізування процесів СУЯ;
- застосовування заходів, необхідних для досягнення запланованих результатів та постійного поліпшування.

Для створення наукової (науково-технічної) продукції процеси в науковій установі, як правило, планують і здійснюють за певних контрольованих умов. Поняття «процес» для наукової установи — це сукупність взаємопов'язаних видів наукової і інших видів діяльності установи, яка перетворює входи на виходи. Під процесом можна розуміти будь-яку наукову і ненаукову діяльність, що на вході використовує певні ресурси (людські, матеріальні, інфраструктуру, новітні технології, оригінальні розроблювані технології та розробки, науково-технічну і інші види інформації тощо), і придатну для одержування певних

виходів. Під це визначення підпадає діяльність будь-якого підрозділу наукової установи, бо кожний підрозділ виконує певні роботи, витрачає певні ресурси, використовує певне обладнання (стандартне, покупне, спеціально виготовлене для проведення дослідження тощо). На виході підрозділ отримує певний результат: наукову (науково-технічну) документацію (звіти, технологічну, конструкторську документацію), експериментальні, дослідні зразки, моделі, макети тощо.

Процеси, що можуть мати місце в науковій установі, можна поділити на основні та допоміжні. До основних процесів СУЯ належать процеси створення наукової (науково-технічної) продукції. Решту процесів можна віднести до допоміжних (наприклад, усі процеси вимірювання, процеси постачання ресурсів тощо). У наукових установах допоміжні процеси мають важливе функціональне значення для окремих підрозділів, тому що від них залежать ефективність і результативність основних процесів. Управлінські та допоміжні підрозділи є складниками СУЯ установи, і до них також застосовують процесний підхід, щоб забезпечити взаємодію взаємопов'язаних підрозділів у системі управління науковою установою.

У кожному процесі мають бути визначені: вимоги до його вхідних і вихідних даних, технологія перетворювання входу у вихід, порядок керування процесом, його керівник та замовник (споживач) тощо. Вхідні вимоги мають відбивати все необхідне для виконання процесу і для забезпечення на його виході заданих замовником вимог. Вихідні вимоги мають задовольняти потребам та очікуванням замовника. Оскільки виходом кінцевого процесу є наукова (науково-технічна) продукція, то ці вимоги являють собою не що інше, як фізичні та функціональні характеристики, які задовольняють вимоги замовника.

Корисним інструментом процесного підходу є попереднє визначення ризиків невиконання або помилкового виконання процесу, їх можливих причин і наслідків тощо. Тому основну увагу під час розроблення порядку виконання процесу необхідно приділяти діям, спрямованим на запобігання цим ризикам, їх виявлення або мінімізацію наслідків у разі їх виникнення.

Керування процесом, як правило, містить в собі функції: планування, організування робіт, контролювання їх виконання та регулювання. Під час планування процесу встановлюють обґрунтовані завдання працівникам та визначають ресурси, необхідні для їх виконання. Організування робіт передбачає раціональний розподіл діяльності підрозділів та посадових осіб установи для досягнення запланованих результатів. Контролювання виконання процесу забезпечує безперервне ана-

лізування та оцінювання відповідності фактичних значень вимірюваних параметрів встановленим, а також періодичне оцінювання результативності та ефективності процесу. Регулювання процесу передбачає усунення невідповідностей, що можуть мати місце під час виконання процесу, шляхом коригувальних дій.

Отже, кожна наукова установа (підрозділ) мають визначати свої пріоритети у сфері якості, самостійно визначати та описувати усі процеси СУЯ, як основні, так і допоміжні, на основі встановленої політики у сфері якості і тільки після цього задокументувати СУЯ, виходячи із результатів попередніх робіт. Для наочності доречно застосовувати класифікацію процесів СУЯ за групами: процеси створення наукової (науково-технічної) продукції; процеси управлінської діяльності; процеси, пов'язані з управлінням ресурсами; процеси вимірювання, аналізування і удосконалення. Для ефективного функціонування СУЯ потрібно узгодити входи і виходи всіх процесів та забезпечити необхідні ресурси. Ресурси, як і діяльність, необхідно включати до процесу для того, щоб входи розглядати тільки як потоки процесів інших підрозділів установи або організацій, що приходять ззовні.

*Соломахо В.Л., Лукаш В.С. Белорусский
национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ-СИГНАЛИЗАТОРА ПОИСКОВОГО НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

На современно этапе технического прогресса использование атомной энергетики и ионизирующего излучения (далее ИИ) является не только технологически и экономически оправданным шагом, но и свидетельством высокого уровня промышленного развития. Однако переход к таким технологиям неизбежно приводит к дополнительным рискам, связанным с вероятностью аварий на ядерных объектах (число которых в мире увеличивается), утилизацией радиоактивных отходов. В последние годы наряду с рисками объективного характера, связанными с использованием атомной энергии и ИИ, усилилась проблема ядерного терроризма, которую нельзя сбрасывать со счетов. Поэтому вопросы радиационной безопасности приобретают все большую актуальность. Усиливается необходимость в соз-

дании стационарного и мобильного оборудования радиационного контроля. Одним из средств мобильного радиационного контроля является разработанный измеритель-сигнализатор поисковый (далее – ИСП).

Структурная схема ИСП приведена на рис. 1.

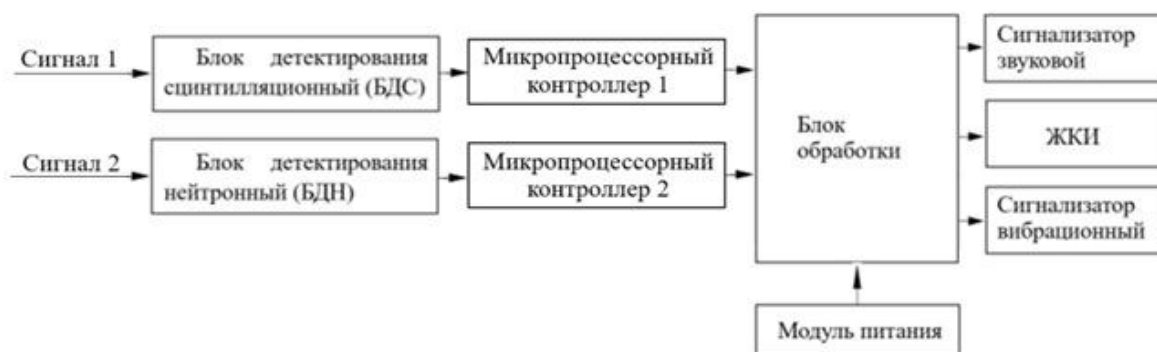


Рис. 1 – Структурная схема прибора

ИСП оснащен двумя высокочувствительными детекторами: сцинтилляционным детектором CsI(Tl) (цезий – йод) и нейтронным детектором на основе ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}$ (литий-фтор/цинк-сера) и предназначен для обнаружения и локализации источников гамма и нейтронного излучения, а также для измерения мощности индивидуального эквивалента дозы (далее – МЭД). Эффективность обнаружения ИИ тем выше, чем ближе расположен ИСП к обследуемому объекту (не более 10 см от объекта) и чем меньше скорость его перемещения вдоль объекта (не более 10 см/с). В режиме поиска приборы осуществляют сравнение числа импульсов в единицу времени, поступающих с выходов блоков детектирования гамма- и нейтронного излучения, с пороговыми значениями, рассчитанными на основе значений радиационного фона, измеренного при калибровке прибора с учетом установленных коэффициентов. Блок обработки осуществляет математическую обработку сигналов. При обнаружении источника осуществляется категоризация по природе радионуклида.

Одним из обязательных видов испытаний, являются испытания на проверку устойчивости к быстрым температурным изменениям (термический удар) от 50 °С до минус 40 °С, не теряя при этом своих метрологических характеристик.

При проведении испытаний используется камера тепла-холода и источники фотонного излучения. Испытания приборов проводят в пять этапов, последовательность которых отображена на рис. 2. На каждом температурном режиме, проводят десять измерений и рассчитывают среднее значение и стандартное отклонение. На основе данных расче-

тов вычисляют статистику испытаний в соответствии со следующими уравнениями:

$$t_k = \frac{\bar{x}_{\text{конечное}} - 0,85 \cdot \bar{x}_{\text{начальное}}}{\sqrt{\frac{s_{\text{конечное}}^2 + (0,85 \cdot s_{\text{начальное}})^2}{n}}}, \quad (1)$$

$$t_{k+1} = \frac{\bar{x}_{\text{конечное}} - 1,15 \cdot \bar{x}_{\text{начальное}}}{\sqrt{\frac{s_{\text{конечное}}^2 + (1,15 \cdot s_{\text{начальное}})^2}{n}}}. \quad (2)$$



Рис. 2 – Этапы проведения испытаний

Прибор считается удовлетворяющим требованиям при $t_k \geq -0,86$ и $t_{k+1} \leq 0,86$. Эти критерии указывают на то, что ответы прибора до и после испытаний не отличаются более чем на 15%.

Так как измерения МЭД проводят при трех температурных режимах ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$), анализ входных величин (по типу А и В) и расчет бюджета неопределенности осуществляется отдельно для каждого из температурных режимов.

Соломахо В.Л. Белорусский национальный
технический университет,

Цитович Б.В. Белорусский Государственный институт повышения
квалификации и переподготовки кадров по стандартизации,
метрологии и управлению качеством, Минск, Беларусь

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Современные серийно выпускаемые изделия машиностроения и приборостроения часто имеют сходные конструктивные решения базирующиеся, как правило, на достаточно хорошо «отработанной» конст-

рукции. Конкурентоспособность изделий, обеспечивающих выполнение однотипных функций, зависит от уровня их качества, которое в значительной мере определяется комплексом характеристик функционально важных сопрягаемых поверхностей деталей. К ним, в первую очередь, следует отнести физико-механические свойства материала и микрогеометрию поверхности. Оба эти комплексные свойства формируются технологией создания материала и особенностями формообразования поверхностного слоя. Активное развитие формообразования поверхностей привело к развитию новых технологий обработки функционально важных поверхностей деталей, таких как прогрессивные методы пластического деформирования, порошковая металлургия, точное литьё, электрофизические и физико-химические технологии обработки, наплавка и напыление сопрягаемых поверхностных слоев элементов деталей и, наконец, аддитивные технологии («печать» деталей на 3D-принтерах). Их широкое внедрение нарушило привычные связи между параметрами микрогеометрии поверхностей.

Современные материалы и технологии обработки поверхностей привели к формированию новых свойств изделий, что открыло возможности их более рационального использования.

Главной отличительной особенностью микрорельефа «новых» поверхностей является отсутствие взаимной зависимости между высотными и шаговыми параметрами шероховатости поверхностей, их связи с базовой длиной и с относительной опорной длиной профиля. Это означает, что каждый из параметров можно выбирать автономно и нормировать их, исходя из требований к функционированию деталей. Очевидной стала необходимость принципиального обновления подхода к нормированию микрогеометрии поверхностей.

В соответствии с действующим стандартом микрогеометрию поверхности можно нормировать с использованием шести параметров шероховатости (три высотных, два шаговых и показатель относительной опорной длины профиля) с возможностью использования такой характеристики, как направление неровностей, что обеспечивает значительную гибкость управления микрогеометрией нормируемой поверхности. Относительную опорную длину можно нормировать на выбранном уровне сечения профиля, что определяет структуру контакта в сопряжении деталей при их сборке и/или взаимном перемещении. Это важно для соединений с натягом, для герметичных соединений, а также для подвижных соединений в которых происходит износ поверхностей в процессе взаимных перемещений. Стандарт также позволяет рацио-

нально назначать базовую длину для любой из выбранных норм или для группы норм, если в том будет необходимость, что увеличивает возможности управления микрогеометрией поверхности.

Широко растиражированные в справочниках конструкторов и технологов средние и достижимые значения высотных параметров шероховатости поверхностей явно устарели, так же как и рекомендации по нормированию этих параметров для типовых элементов конструкций. Применение устаревших рекомендаций принципиально ограничивает возможности повышения уровня качества вновь разрабатываемых изделий. Практическое использование только высотных параметров шероховатости поверхностей, главным образом среднеарифметического отклонения профиля Ra при разработке новых изделий, связано с недооценкой разработчиками возможностей управления качеством поверхностей при использовании иных параметров шероховатости, а также рядом очевидных преимуществ применения Ra как предпочтительного из высотных параметров. Отличительными признаками параметра являются: статистическая стабильность и высокая повторяемость результатов измерений; оптимальность для поверхностей со стохастическим характером профиля, например шлифованных; удобство при контроле стабильности технологического процесса; возможность измерений любым, даже самым простым современным профилографом.

Параметру Ra присущ недостаток, весьма значительный с учетом развития современных аддитивных технологий – он не позволяет определить тип профиля поверхности (не изменяется при изменении формы профиля поверхности). Очевидно, что для наиболее полного использования микрорельефа поверхностей в качестве инструмента обеспечения качества необходимо расширить номенклатуру параметров, что может потребовать дальнейшего совершенствования соответствующих стандартов. В настоящее время существуют зарубежные стандарты, которые позволяют нормировать значительно большее число параметров шероховатости поверхностей, чем это принято сегодня у нас. При этом их инструментальный контроль обеспечивается серийно выпускаемыми средствами измерений.

Естественным выходом из сложившейся на сегодня ситуации является системное планирование объёмных исследовательских работ, направленных на разработку давно необходимых рекомендаций по рациональному нормированию и выбору параметров шероховатости поверхностей.

Соломахо В.Л. Белорусский национальный
технический университет,
Цитович Б.В. Белорусский Государственный
институт повышения квалификации и переподготовки
кадров по стандартизации, метрологии и управлению
качеством, Минск, Беларусь

РОЛЬ КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА

Для обеспечения качества продукции современное производство использует такие составляющие технологического процесса получения продукции как контроль и испытания. В процессах контроля и испытаний широко применяются измерения параметров объектов производства и/или технологических процессов. Хотя эти два вида информационных процессов в некоторых элементах несопоставимы, даже профессионалы иногда путают между собой их отдельные элементы или даже процессы в целом (в неявной форме), например, не различая контроль и измерения или метрологическое обеспечение испытаний и испытания в целом. Поскольку испытания относятся только к предметам (искусственным или природным «изделиям»), а измерения и контроль применимы также к процессам и физическим полям, далее будем рассматривать информационные процессы только по отношению к «изделиям».

С ростом сложности продукции и процессов её оценивания названные информационные процессы часто взаимно притирают друг в друга; возникает путаница в понимании сути процессов и ненужное дублирование операций. В итоге возникают риски для принятия адекватных управляющих решений по результатам оценивания уровня качества продукции.

Основные определения контроля и испытаний, представленные в стандарте ГОСТ 16504 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения», позволяют однозначно различать процессы контроля и испытаний. Приведём некоторые из стандартных определений.

Технический контроль – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Измерительный контроль – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Органолептический контроль – контроль, при котором первичная информация воспринимается органами чувств.

Испытания – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

На первом этапе контроля получают «первичную информацию» (адекватную оценку свойства), а на втором её сопоставляют с нормами, установленными для данного свойства объекта. Оценка соответствия или несоответствия исследуемого свойства установленным нормам («вторичная информация») – главная часть контроля. Получение первичной информации при контроле может осуществляться инструментально, например, измерениями или без измерений – экспертными методами, например, визуальным выявлением дефектов на поверхности детали (черновины, сколы...).

В некоторых случаях возможны измерения или экспертное оценивание «явных» свойств изделия, в других – его потенциальные свойства проявляются только при проведении испытаний. К «потенциальным» можно отнести такие сложные свойства, как надёжность, биологическая безопасность, гармоничность вкуса пищевого продукта и их составляющие. Представленная ниже табл. 1 поможет различать процессы измерений, испытаний и контроля по их наиболее характерным признакам.

Таблица 1 – Основные признаки измерений, испытаний и контроля изделий

Характерные признаки процессов	Вид процесса		
	Измерение уровня свойства объекта	Испытания объекта	Контроль свойств объекта
Цель процесса	Получение информации о «явных» свойствах	Получение информации о «потенциальных» свойствах	Оценка соответствия оцениваемого свойства нормам
Воздействие на объект	Слабое (не изменяющее объект)	От слабого до разрушающего	В соответствии с методом оценивания
Изменения объекта	Отсутствуют	От незначительных до разрушения	В соответствии с методом оценивания
Итоговая информация	Уровень оцениваемого свойства	Оценка воздействий на объект	Оценка соответствия объекта требованиям

Выводы:

1. Неоправданное дублирование и пересечение процедур получения информации вызывает потенциальные риски и дополнительные экономические затраты.

2. При планировании процедур получения информации о качестве объекта необходимо опираться на их характерные признаки, включая их цели, уровень воздействия на объект и получаемую итоговую информацию.

3. Различение данных процессов необходимо для правильного профессионального использования специалистов. Обеспечением измерений физических величин должны заниматься метрологи, оценением нефизических величин – специалисты в области квалиметрии, а разработкой методик испытаний различных изделий и их проведением – специалисты в области разработки и эксплуатации конкретных изделий.

Сороченко В.Г., Сохань С.В. Институт
сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ШЛИФОВАНИЯ НА СКОРОСТЬ СЪЕМА ПРИПУСКА И УМЕНЬШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ

Применение гибридных подшипников из нитрида кремния, карбида кремния и карбида бора в авиационном двигателестроении обусловлено тем, что эти материалы позволяют значительно повысить скорости вращения подшипников качения по сравнению со стальными подшипниками. Кроме того, они имеют исключительно большую стойкость при высоких температурах.

Горячепрессованный нитрид кремния являются основным материалом при создании гибридных керамических подшипников, хотя сохраняется значительный интерес и к другим материалам, в частности к карбиду бора. Следует отметить, что ряд зарубежных фирм США, Европы, Японии, Китая России уже сегодня выпускают и эксплуатируют керамические гибридные подшипники качения. Наиболее сложным и трудоемким при изготовлении подшипников качения является технологический процесс изготовления шаров (рис. 1).

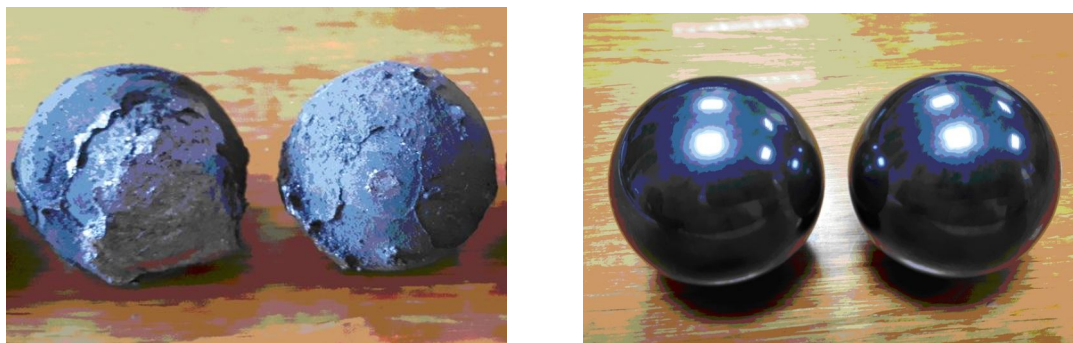


Рис. 1 – Внешний вид керамических заготовок после спекания и готовых шаров

Требования к точности и качеству изготовления прецизионных керамических шаров очень высокие – согласно стандарту ISO 3290-2:2014 для керамических шаров степени точности G16 (диаметром до 50 мм) отклонение от сферической формы шаров 0,4 мкм, вариации диаметров шаров 0,4 мкм, разноразмерность диаметра шаров в партии 0,4 мкм и качество изготовления по параметру шероховатости поверхности изделия Ra 0,025 мкм. Указанные требования обеспечиваются после придания заготовкам керамических шаров сферической формы на операции алмазно-абразивного шлифования с последующей групповой доводкой керамических шаров в несколько переходов с последовательным уменьшением зернистости алмазной суспензии на каждом переходе.

Целью данной работы было определение влияния технологических режимов обработки на показатели безэлеваторного алмазного шлифования керамических шаров из карбида кремния: скорость уменьшения диаметра шаров, а также скорости уменьшения сферической формы поверхности шаров. Исследование влияния технологических режимов шлифования на показатели безэлеваторного алмазно-абразивного шлифования заготовок керамических шаров из реакционно спеченного карбида кремния проводили на модернизированном шародоводочном станке модели ВШ-204М (рис.2) с установленным на его рабочем столе технологическим устройством для размещения шариков. Это позволило проводить обработку при оптимальных скоростях шлифования $v = 25\text{--}30$ м/с и скоростях подачи (перемещения) шаров в диапазоне от $S = 0,15$ до 0,30 м/с. Количество шаров в партии, обрабатываемых одновременно, было 8 шт.

Устанавливали влияние подачи круга на врезание (S_b), период времени шлифования между подачами (t_o), и скорость вращения стола с шарами в сепараторе (S_k) на скорость уменьшения диаметра шара (съём припуска Δd) и скорость изменения сферической поверхности шара ($\Delta\delta$). Указанные показатели процесса определяли после непосредственного измерения каждого шара. Отклонение поверхности шара от сферичности измеряли до и после проведения каждого опыта.

Диаметр шара измеряли на длинномере вертикального типа ИЗВ-2 с ценой деления шкалы измерений 1 мкм в трех взаимно перпендикулярных направлениях, причем исходное направление выбирали произвольно. На этой основе определяли средний диаметр каждого шара и средний диаметр шара в партии до и после проведения опыта. Скорость уменьшения диаметра шара определяли в мкм/мин по разнице среднего диаметра шара в партии до и после проведения опыта с учетом времени проведения опыта.

Измерение отклонения от сферичности поверхности шара проводили индикатором часового типа МИГ-1 с ценой деления шкалы измерений 1 мкм, закрепленном на магнитном штативе. Шар, подлежащий измерению, устанавливали на базовом кольце с наружными и внутренними фасками, что максимально близко к условиям контакта шара и кольца по окружности. Базовый диаметр кольца подбирали как диаметр окружности, вписанной в равносторонний треугольник, который в свою очередь является вписанным в окружность с максимальным диаметром шара. В результате измерения при повороте шара на базовом кольце находили максимальное и минимальное значение отклонения поверхности шара от сферичности.

На основании полученных результатов проведенных исследований получены графические зависимости функций $\Delta d(S_B, t_0)$, $\Delta d(S_B, S_K)$, $\Delta d(S_K, t_0)$ и $\Delta \delta(t_0, S_B)$, $\Delta \delta(s_K, S_B)$, $\Delta \delta(S_K, t_0)$ (рис. 3–6).



Рис. 2 – Внешний вид станка модели ВШ-204М

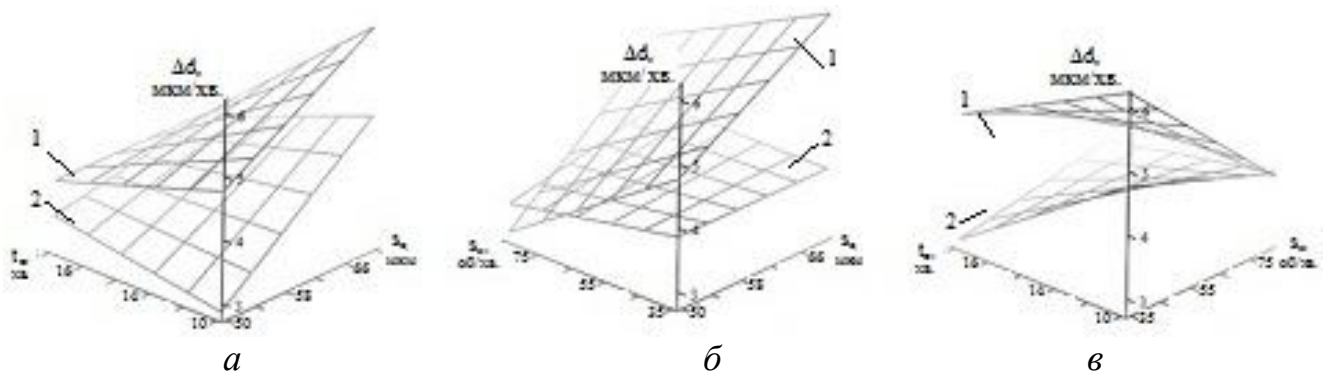


Рис. 3 – Зависимость показателя Δd от величины подачи круга на врезание s_B и периода времени шлифования t_0 (а) при скорости вращения стола $s_K = 35$ об/мин (1) и 85 об/мин (2); от s_B и s_K (б) при $t_0 = 10$ мин (1) и 20 мин (2); от t_0 и s_K (в) при $s_B = 50$ мкм (1) и 70 мкм (2)

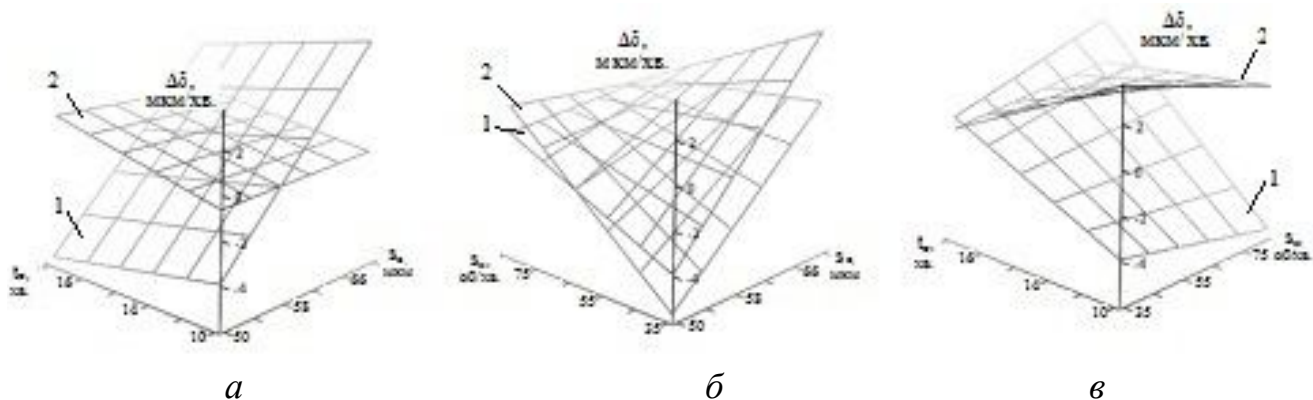


Рис. 4 – Зависимость показателя $\Delta\delta$ от величины подачи круга на врезание s_v и периода времени шлифования t_0 (а) при скорости вращения стола $s_k = 35$ об/мин (1) и 85 об/мин (2); от s_v и s_k (б) при $t_0 = 10$ мин (1) и 20 мин (2); от t_0 и s_k (в) при $s_v = 50$ мкм (1) и 70 мкм (2)

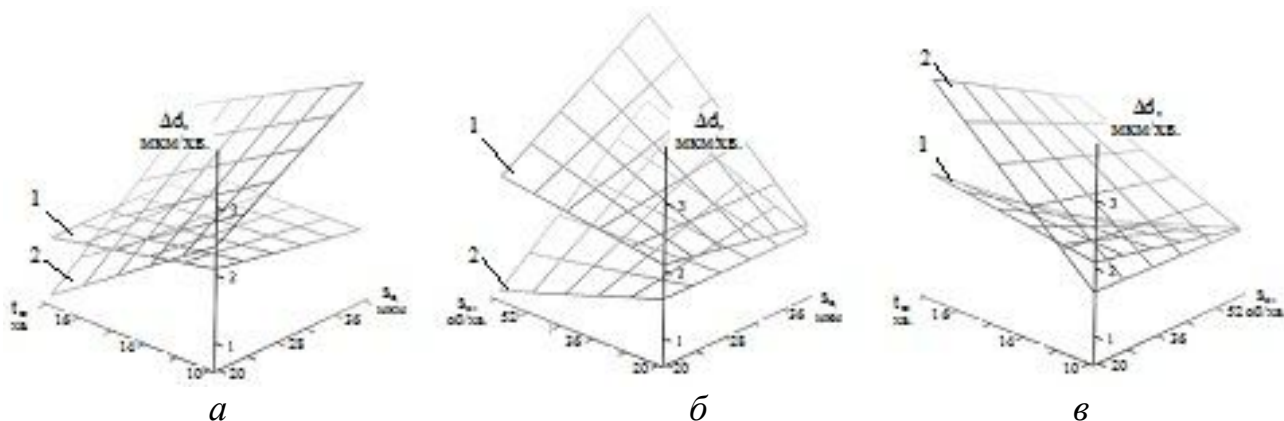


Рис. 5 – Зависимость показателя Δd от величины подачи круга на врезание s_v и периода времени шлифования t_0 (а) при скорости вращения стола $s_k = 20$ об/мин (1) и 60 об/мин (2); від s_v и s_k (б) при $t_0 = 10$ мин (1) и 20 мин (2); t_0 и s_k (в) при $s_v = 20$ мкм (1) и 40 мкм (2)

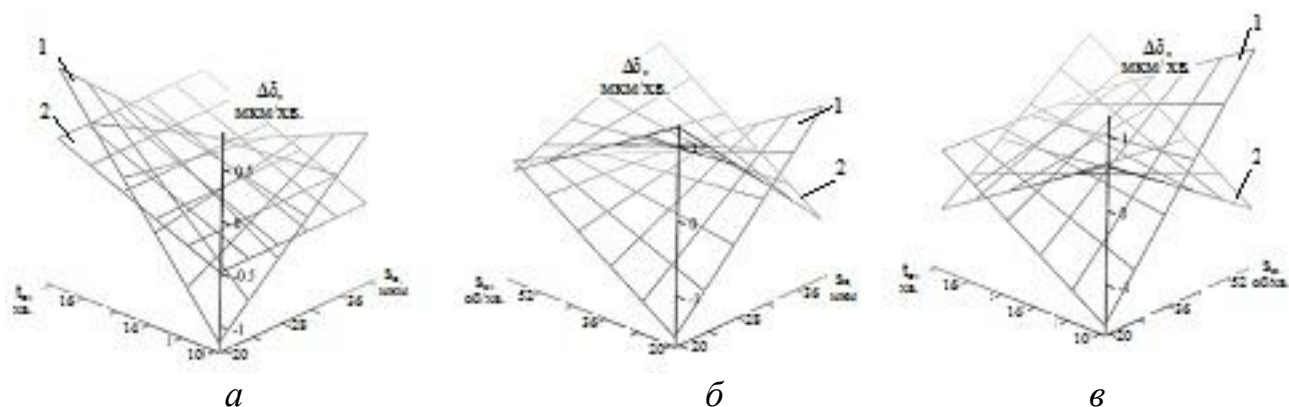


Рис. 6 – Зависимость показателя $\Delta\delta$ от величины подачи круга на врезание s_v и периода времени шлифования t_0 (а) при скорости вращения стола $s_k = 20$ об/мин (1) и 60 об/мин (2); от s_v и s_k (б) при $t_0 = 10$ мин (1) 20 мин (2); от t_0 и s_k (в) при $s_v = 20$ мкм (1) и 40 мкм (2)

Как видно из приведенных графиков на рис. 3–6, четкой тенденции изменения показателей процесса шлифования в исследуемом диапазоне варьирования режимных параметров не наблюдается. Поэтому для определения рекомендаций по выбору режимов шлифования целесообразным является ранжирование полученных результатов, например, при увеличении подачи на врезание.

Поскольку стратегической целью процесса шлифования керамических шаров было достижение, в первую очередь, максимально возможного исправления отклонения от сферичности поверхности шара и только затем, во вторую, очередь достижения высокой продуктивности процесса, поэтому именно с этой точки зрения следует определять влияние технологических режимов шлифования на показатели безэлеваторного алмазно-абразивного шлифования керамических шаров из карбида кремния. Как видно из рис. 3 и 6 в среднем диапазоне изменения подачи на врезание (40–50 мкм) имеем положительный результат, а именно: обеспечение позитивного показателя $\Delta\delta$ достигается при значении комплексного показателя режима обработки в пределах 0,1–0,3 мкм/об, но при условии, что скорость вращения стола с шарами в сепараторе должна изменяться в нижнем диапазоне, то есть 20–35 об/мин.

С позиции максимальной производительности процесса преимущество в работе следует отдавать среднему диапазону изменения подачи на врезание (50 мкм) и скорости вращения стола с шарами в сепараторе в нижнем диапазоне (35 об/мин).

Сороченко В.Г., Сохань С.В. Институт
сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина

ИЗНОС АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Современное производство газотурбинных авиационных двигателей требует применение новых конструкционных материалов, обладающих повышенной теплостойкостью и эксплуатационной надежностью при температурах до 2000–2500 °С. По прогнозам специалистов их альтернативой являются современные керамические материалы, ос-

новное преимущество которых состоит в сохранении физико-механических и теплофизических свойств при высоких температурах, а также высокой износо- и коррозионной стойкостью.

Целью данной работы было установление влияния технологической схемы алмазно-абразивного шлифования с круговой подачей керамических шаров и режимов обработки на характер износа круга и изменение показателей точности обработанных шаров.

Исследование проводили при алмазном шлифовании заготовок керамических шаров из реакционно-спеченного карбида кремния на специальном технологическом стенде, смонтированном на базе универсального вертикально-фрезерного станка модели 6Т12-1. На рабочем столе станка установлено специально изготовленное технологическое устройство для удержания шлифуемых шаров между конусными поверхностями верхнего диска и прижимного кольца. Данное устройство позволило разделить кинематические цепи, которые обеспечивают формообразующие и переносные движения и кинематические цепи, выполняющие собственно процесс шлифования. Это позволило проводить обработку шаров в диапазоне скоростей шлифования 5–20 м/с и скоростях перемещения шаров 1,4–1,7 м/с.

Алмазный шлифовальный круг формы 6А2 300×75×3 оснащен алмазами марки АС32 зернистостью 125/100 с относительной концентрацией 100 на металлической связке М2-01. Количество одновременно обрабатываемых шаров диаметром 41,20 мм было восемь штук (рис. 1, а). Скорость резания 15,70 м/с, стола с шарами 180 об/мин. Время проведения каждого опыта принято 90 и 120 минут в зависимости от режима обработки. На рис. 1, б показана схема измерения координаты профиля рабочей поверхности круга.

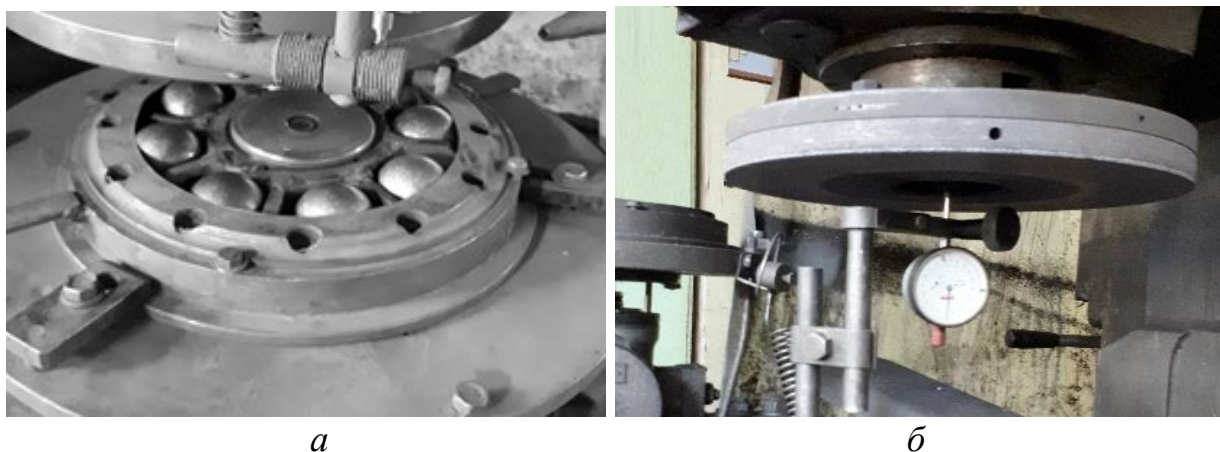


Рис. 1 – Размещение керамических шаров в устройстве (а), измерение координаты профиля рабочей поверхности круга (б)

Устанавливали влияние схемы шлифования с круговой подачей шаров на износ алмазного круга и точность партии керамических шаров. Рассматривали следующие схемы шлифования с круговой траекторией: касательной изнутри к внешнему краю рабочей поверхности (рис. 2, *а*), с центром посередине (рис. 2, *б*) и с траекторией, касательной снаружи внутреннего края рабочей поверхности (рис. 2, *в*).

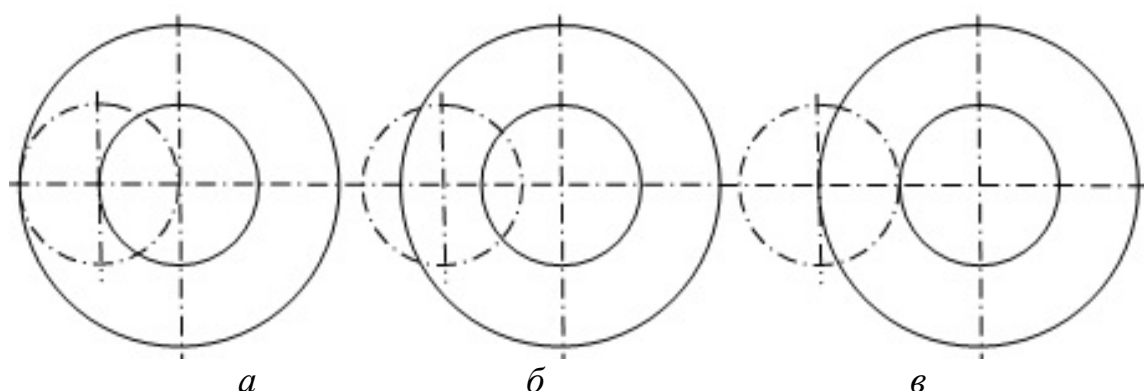


Рис. 2 – Схемы шлифования с траекторией подачи шаров: касательной изнутри к внешнему краю рабочей поверхности (*а*), с центром по середине (*б*), касательной снаружи внутреннего края рабочей поверхности (*в*)

За показатели износа алмазного круга была принята усредненная координата профиля поверхности и скорость износа круга, как во времени, так и в радиальном направлении. Показателями точности партии керамических шаров были разноразмерность диаметра шаров в партии и относительный разброс величины вариации шаров в пределах партии. Указанные показатели определялись после непосредственного измерения либо текущей координаты профиля круга и расчета усредненной координаты, либо диаметра каждого шара и вариации этого диаметра как до, так и после шлифования.

Измерение текущей координаты профиля круга проводили непосредственно на станке с помощью многооборотного индикатора часового типа МИГ1 с ценой деления 1 мкм, закрепленного на штативе, как показано на рис. 1, *б*. Перед началом измерений проводили калибрование начало отсчета за одной и той же точкой на торцевой поверхности крепления круга. Координату измеряли в радиальном направлении в пяти равноудаленных одна от другой точки, в которых первая и последняя точки находились на расстоянии 3,5 мм соответственно от внутреннего и наружного краев алмазного круга. Измерения повторяли для других двух радиальных направлений, равноудаленных от первого направления, причем исходное направление выбирали произвольно и

не изменяли его по ходу выполнения каждого опыта. На основе полученных измерений определяли усредненную координату для каждой из реперных точек на радиусе круга.

Измерение диаметра шара проводили на длинномере вертикально типа ИЗВ-2 с ценой деления шкалы измерения 1 мкм. Диаметр шара измеряли в трех взаимно перпендикулярных направлениях, при этом исходное направление выбирали произвольно. Измеряемый шар располагали в призме на две опорные точки, что обеспечивало ее центрирование против щупа длинномера в одной вертикальной плоскости, затем перемещали вдоль направляющих призмы до упора в дополнительный горизонтально установочный упор, что обеспечивало ее центрирование против щупа. Во время поворота шара в призме в произвольно выбранном направлении с периодической сменой этого направления фиксировали диапазон отклонений на приборе. Разница между максимальным и минимальным показаниями длинномера принималась за вариацию диаметра шара. Измерения проводили до и после выполнения доводки, чтобы была возможность зафиксировать изменения исследуемых показателей во времени.

В результате проведенных исследований процесса шлифования керамических шаров, выполненных в течение семи часов для каждой из принятых схем обработки были получены закономерности изменения усредненных координат профиля рабочей поверхности круга. На рис. 3 показаны закономерности изменения текущих расчетных координат профиля поверхности круга.

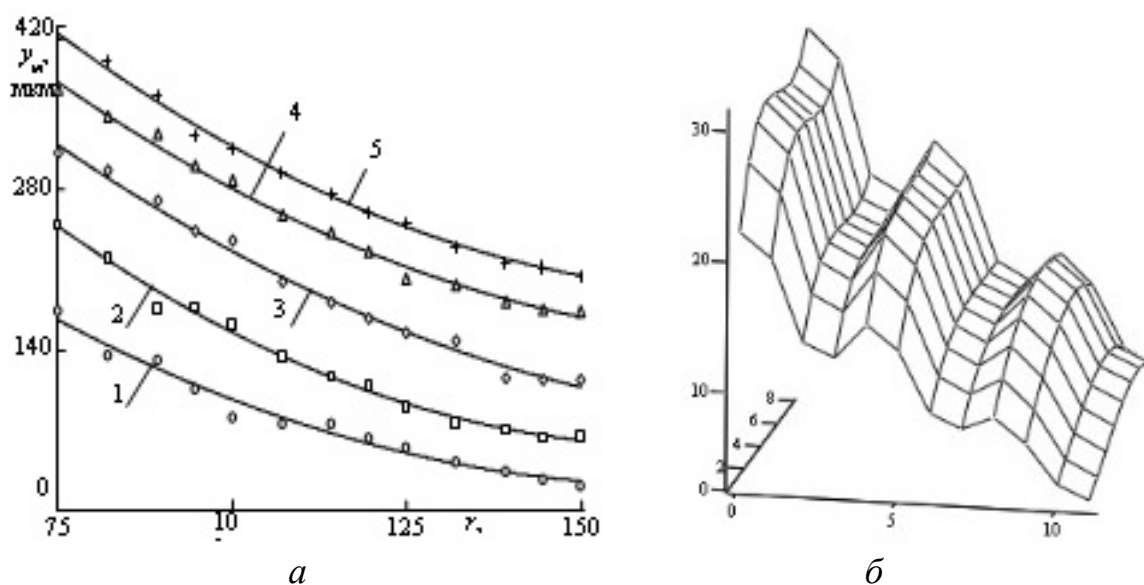


Рис. 3 – Усредненные во времени экспериментальные (а) и текущие расчетные (б) координаты профиля поверхности круга для реперных точек его радиуса: 78,5 мм – 1; 95,5 – 2; 112,5 – 3; 129,5 – 4; 146,5 – 5

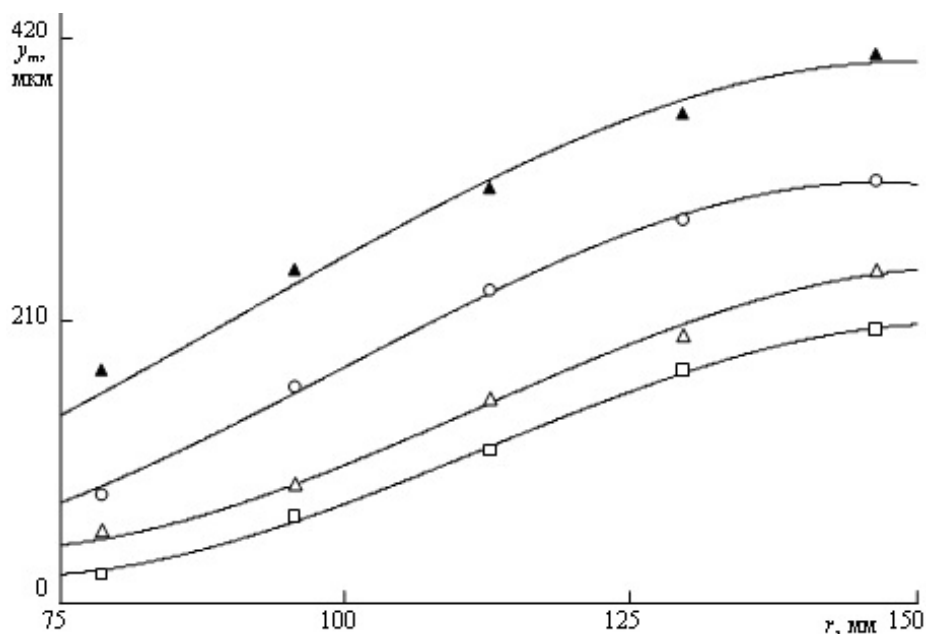


Рис. 4 – Изменение в радиальном направлении усредненной координаты профиля круга: ▲ – до проведения опыта; ○ – с траекторией подачи изнутри к внешнему краю; △ – с центром посередине; □ – с траекторией снаружи внутреннего края

Износ поверхности алмазного круга при групповом алмазно-абразивном шлифовании керамических шаров протекает как со сменой во времени так и в радиальном направлении со скоростью, которая зависит от схемы шлифования и режима обработки (см. рис. 3, 4). Сохранение исходной плоской формы алмазного круга обеспечивает схема шлифования с траекторией подачи шаров, касательной изнутри к внешнему краю круга. Преимуществом этой схемы является высокая производительность шлифования. Таким образом, задачу эффективной подготовки керамических шаров для последующей доводки необходимо решать путем выбора схемы группового алмазно-абразивного шлифования с траекторией подачи шаров, касательной изнутри к внешнему краю круга. При этих условиях имеет место максимально возможное исправление разноразмерности диаметра шаров в партии при максимально возможном сохранении исходной плоской формы круга и средних значений разброса величин вариации диаметра шаров.

В результате экспериментального исследования влияния схемы группового алмазно-абразивного шлифования керамических шаров и технологических режимов шлифования на износ поверхности алмазного круга и точность партии керамических шаров из карбида кремния установлено, что сохранение исходной плоской формы алмазного круга статистически значимое влияние имеют схема шлифования и частота

подачи круга; при этом дискретная подача круга на врезание прямого влияния на неравномерность износа круга не имеют.

Таким образом, следует подчеркнуть, что важным условием максимально возможного исправления разноразмерности диаметра шаров в партии при максимально возможном сохранении исходной плоской формы алмазно-абразивного круга является выбор групповой алмазной обработки с траекторией подачи шаров, касательной изнутри к внешнему краю круга, а также снижение до минимального значения исследуемых значений дискретной подачи круга на врезание и одновременно повышение до максимума частоты подачи круга.

Степаненко С.М., Серода Т.Н., Назаренко Ю.А.
ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Согласно международному стандарту ISO 9001:2015 (национальным эквивалентом является стандарт ДСТУ ISO 9001:2015), для оценки результатов деятельности предприятия в рамках системы менеджмента качества (СМК), непосредственно связанной с процессом проектирования авиационных двигателей, необходимо определять: что должно подлежать мониторингу и измерениям; методы мониторинга, измерения, анализа и оценки, необходимые для обеспечения достоверных результатов; когда должны проводиться мониторинг и измерения; когда результаты мониторинга и измерений должны быть проанализированы и оценены. Предприятие должно постоянно оценивать результаты деятельности и результативность своей СМК; а также регистрировать и сохранять соответствующую документированную информацию как свидетельство полученных результатов.

Для проведения постоянного мониторинга результативности и эффективности процессов СМК предприятия, проектирующего авиационные двигатели, рассматриваются процессы: «планирование», «проектирование», «управление конфигурацией», «анализ рисков» и другие. Для каждого из этих процессов определяются характерные показатели деятельности и устанавливаются критерии для оценки их результативности.

Для проведения количественной оценки, наиболее рациональным является выбор параметров из числа показателей деятельности, по которым на предприятии проводится постоянный мониторинг хода выполняемых работ. Предлагается использование для анализа элементы теории графов.

Центральным понятием теории графов является понятие графа, как некоторой схемы, состоящей из множества вершин (узлов), соединённых между собой множеством ребер, между которыми имеется связь, то есть определено отношение так называемой инцидентности. В зависимости от способа соединения вершин различаются направленные и ненаправленные графы. Рассматривая различные способы формализованного представления любой модели с помощью графа, можно отметить, что наиболее информативной является форма представления, в которой граф задан и полностью определен с помощью совокупности матриц. В теории графов различают матрицу смежности вершин, матрицу инцидентности и матрицу смежности ребер.

На основе представления в виде направленного графа был выполнен анализ результативности по такому показателю процесса проектирования как «Количество конструкторских документов, разработанных за контрольное время (например, за месяц)» подразделениями, участвовавшими в разрабатываемых в данный период проектах. Была составлена матрица смежности вершин графа, в которой вершинами являлись семь конструкторских подразделений предприятия, обозначенных КО1, ..., КО7, и десять разрабатываемых проектов (Пр1, ..., Пр10), а ребрами – количества разработанной документации (КД) каждым подразделением по каждому проекту. Если в каждом столбце матрицы разделить КД на количество конструкторов в соответствующем подразделении и на норму выпуска КД за установленное время, получим значения, показывающие долю интеллектуального ресурса подразделений, потраченную на каждый проект, а сумма таких долей дает показатель общей загруженности подразделений в процессе проектирования. В табл. 1 приведены результаты такого анализа.

Аналогично, с применением графа проанализирован такой показатель процесса проектирования, как «Выполнение поставленных на контроль пунктов тематических планов, сроки выполнения которых переносились». Рассматривая те же подразделения в качестве выходных вершин графа, а входной вершиной приняв 100% выполнение тематических планов в поставленный срок, и задав в качестве ребер числа пунктов планов с перенесенными сроками, в матрице смежности вершин проводится нормирование этих значений на одного конструктора в

подразделении. Фрагмент окончательной матрицы с ненулевыми значениями показан в табл. 2.

Таблица 1 – Результат анализа по количеству разработанной НД

Проекты	Конструкторские подразделения						
	КО1	КО2	КО3	КО4	КО5	КО6	КО7
Пр1				0,26	0,16	0,06	
Пр2		0,24	0,16		0,07	0,12	0,24
Пр3		0,10		0,12	0,20	0,16	
Пр4					0,29		
Пр5		0,03		0,08	0,23	0,11	
Пр6	0,12		0,09			0,13	0,11
Пр7		0,40	0,07	0,22		0,47	
Пр8	0,21	0,05					
Пр9			0,27				
Пр10	0,13		0,10				
Всего	0,46	0,82	0,69	0,68	0,95	1,15	0,35

Таблица 2 – Результативность работы с планами

Количество переносов на 1 конструктора	Конструкторские подразделения						
	КО1	КО2	КО3	КО4	КО5	КО6	КО7
	0,66	0,75	0,31	0,31	0,12	0,14	0,81

Как видно из табл. 2, в подразделениях КО5 и КО6 самый низкий уровень переноса пунктов тематических планов, что говорит о хорошей организации менеджмента в этих подразделениях. А вот на организацию работ в подразделениях КО2 и КО7 руководство должно обратить особое внимание.

Такой же подход применим и для анализа других показателей результативности процесса проектирования. Предложенная модель мониторинга с использованием элементов теории графов дает возможность выявлять критические элементы СМК, проводить анализ с целью выявления коренных причин несоответствий, формировать корректирующие действия для улучшения.

КОМПЛЕКСНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ПАРЫ ТРЕНИЯ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»

Условия взаимодействия в системе "колесо-рельс" оказывают существенное влияние на сроки службы и организацию содержания основных устройств пути и подвижного состава, на эксплуатационные затраты железных дорог.

Изучение контактных явлений между колесом и рельсом с учетом условий эксплуатации показало образование дефектов на поверхности катания колеса и нарастание скорости их изнашивания, ведущих к полной или частичной потере их работоспособности, зависят от многих факторов. Сегодня около половины изъятых из эксплуатации колес грузовых вагонов обтачивается из-за дефектов на поверхности катания - выщербин и ползунов.

Качение колеса по рельсу с проскальзыванием (от 0 до 100%) вызывает в основном два процесса разрушения: объемную пластическую деформацию (снятие) и абразивный износ. Объемная пластическая деформация неравномерна по глубине от поверхности катания, достигает наибольших величин непосредственно у поверхности и уменьшается по мере удаления от нее. Результатом пластической деформации является течение металла из зоны основания гребня на поверхность катания и на вершину гребня (рис. 1).

В ходе пластической деформации начинают протекать процессы истирания, включающие в себя: микросрез, схватывание, образование усталостных трещин и т.д. Уменьшение влияния пластической деформации на процессы истирания в условиях эксплуатации возможно за счет регулирования свойств микроструктуры колесной и рельсовой стали, которое можно осуществить за счет термической обработки стали.

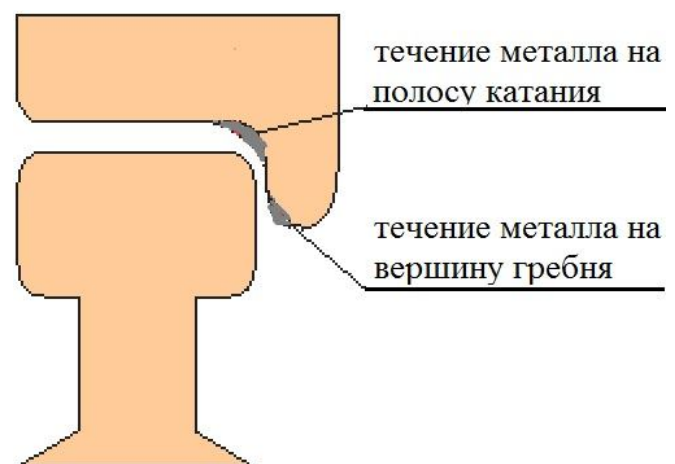


Рис. 1 – Результат пластической деформации в паре трения «колесо-рельс»

Таким образом, мы выходим на важнейшую механическую характеристику колесных и рельсовых сталей, отвечающую не только за прочностные свойства, но и триботехнические – соотношение значений твердости в системе «колесо-рельс». Для передачи крутящего момента и обеспечения сцепления колеса с рельсом, необходимо внедрение колеса в опорную поверхность рельса.

При этом, для обеспечения протекания нормального износа в системе «колесо-рельс» с проскальзыванием до 10%, соотношения твердостей должно составлять как минимум 1,2:1, т.е. при твердости колеса на 20% превышающей твердость рельса.

На основе анализа мирового опыта и экспериментальных работ сделан вывод: увеличение твердости колеса на 1 НВ в эксплуатационном интервале твердостей увеличивает их износостойкость на 1–2%. Кроме того, увеличение твердости колес от 250 до 600 НВ практически не влияет на износ и контактную долговечность рельса, а контактно-усталостная долговечность колес возрастает пропорционально квадрату приращения их твердости.

Повышение износостойкости пары трения «колесо-рельс» - сложный многофакторный процесс, требующий комплексного подхода. В то же время, первым и естественным шагом к решению этой проблемы является устранение сложившегося соотношения твердостей.

На сегодняшний день существует несколько способов повышения твердости гребней колесных пар, которые классифицируются по способу нагрева и охлаждения: объемная закалка в печах; закалка ТВЧ; закалка лазерным, электронным лучами; закалка плазменной дугой (струей); электроконтактная закалка; кислородно-ацетиленовая закалка; лазерная наплавка; плазменное напыление. Большое внимание уделяется разработке и реализации технологий восстановления поврежденных поверхностей наплавкой и напылением. Также необходимо ускорить разработку детонационных технологий, позволяющих на порядок теоретически снизить коэффициент трения.

На основе результатов проведенных экспериментальных исследований предложена комплексная поверхностная обработка, которая совмещает технологию нанесения покрытий и термическую обработку в один технологический цикл дает повысить износостойкость в 2–2,5 раза. В результате ее на поверхности колеса происходит не только изменение структуры поверхностного слоя, но и формируется покрытие, которое выполняет роль твердой смазки, защищающее рабочую поверхность от термомеханохимических воздействий.

Покрытие, сформированное на поверхности колеса выполняет роль твердой смазки и не происходит изменение его свойств, но не происходит изменение его триботехнических свойств (рис. 2).

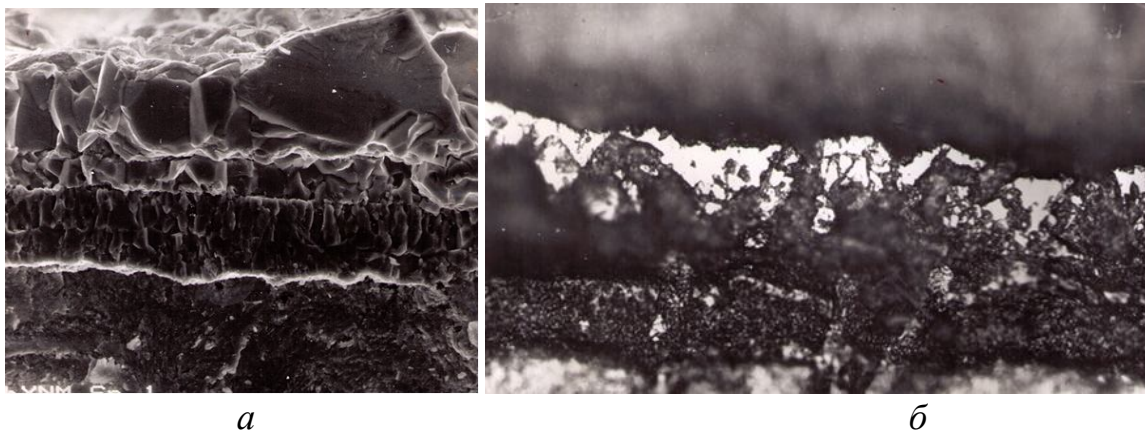


Рис. 2 – Морфология покрытия (×500):
a – излом покрытия; *б* – структура покрытия после травления

Характерной особенностью поверхностного слоя полученного в результате комплексной обработке является его многослойность (рис. 2, *a*), верхний из которых содержит в основном более мягкие составляющие, а нижний подслой, прилегающий к металлической основе стали содержит преимущественно твердые составляющие после комплексной обработки структура и твердость. Эксплуатационные испытания показали целесообразность комплексной поверхностной обработки.

Тіхенко В.М., Ечина М.І. Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

ПРОБЛЕМИ АТЕСТАЦІЇ ПИЛОВИДАЛЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОСУШАРОК

Агропромисловий комплекс – це важлива стратегічна галузь народного господарства будь-якої держави. Україна – один із світових лідерів за обсягами виробництва зернових у світі. Як свідчать статистичні дані, тільки за липень 2019 р.–червень 2020 р. Україна експортувала 51,47 млн. тонн зерна, що на 8,1 млн. тонн більше, ніж за аналогічний період минулого року, та становить 95% від прогнозу з експорту.

Однією з найбільш нагальних проблем на зерносховищах, елеваторах і зерносушарках є боротьба з пилом, який виникає при проведенні

майже всіх технологічних операцій з зерном: прийманні, транспортуванні, очищенні, сушінні, сепарації, при зберіганні в підлогових складах, а також при відвантаженні. Для боротьби з пилом необхідні аспіраційні системи, від ефективності яких залежить дуже багато, починаючи від екології, здоров'я людини і закінчуючи безпекою існування самого зерноскладу чи елеватора.

Перелік про шкоду пилу об'ємний, та можна виділити основні позиції.

1. Матеріальні витрати, адже за перевищення норм викидів пилу в навколишнє середовище передбачені чималі штрафні санкції.

2. Може виникнути вибухонебезпечна концентрація пилу і, при відсутності аспірації, це спровокує вибух або пожежу. Спеціалісти вважають, що вибух, викликаний зерновим пилом, має більшу руйнівну силу, ніж вибух динаміту. Наприклад, в 1992 році пиловий вибух зруйнував два поверхи Балаклійського комбикормового заводу, при цьому загинули 11 людей. Велика концентрація пилу несе чимало проблем і загроз здоров'ю людей. Саме пил і легке сміття містять найбільшу кількість цвілевих грибів. Особливо їх багато в пилу, який відібрано системою аспірації. В одному грамі аспіраційного залишку може налічуватися різного роду грибів у 360 разів більше, ніж в очищеному зерні.

3. Зерновий пил є сильним алергеном, з легень він майже не виводиться, що викликає важкі захворювання дихальної системи.

4. З екологічної точки зору пил впливає на санітарну та епідеміологічну обстановку. Цей вплив характеризується забрудненням повітря робочої зони підприємств та навколишнього середовища. Наприклад, значна частина зерна на експорт завантажується в українських морських та річкових портах і при цьому є ризик попадання викидів пилу в акваторію портів, що може негативно впливати на екосистему прибережної зони.

Оскільки основним джерелом можливого забруднення атмосфери на елеваторах є зерносушарка, то виникає необхідність підтвердження ефективності аспірації даного обладнання (його якості), що для елеваторів означає виключення ризику перевищення встановлених законодавством нормативів по викидах і можливість безперешкодно вести роботу без претензій з боку мешканців прилеглих населених пунктів.

У кожного підприємства, де є зерносушарки, має бути «Дозвіл на викиди забруднюючих речовин. Цей документ видається при запуску зерносушарки обласним управлінням з екології та захисту природних ресурсів, його зобов'язані отримувати всі елеватори, які планують експлуатувати зерносушарки.

На практиці закупівля елеваторного обладнання (в тому числі зерносушарок) для нового об'єкта або для розширення вже існуючого відбувається ще до звернення підприємства за отриманням Дозволу на викиди. Покупцю зерносушарки доводиться орієнтуватися тільки на технічні показники її виробника. Після запуску слід проводити реальні виміри рівня викидів силами власної акредитованої або залученої незалежної лабораторії, а засоби вимірювальної техніки повинні бути повірені метрологічною службою. Показники заносять до протоколу запуску, який під час найближчої перевірки має право запитати інспектор Державної екологічної інспекції України.

При розгляді рівня викидів зерносушарки або елеватора, наші українські державні органи посилаються на наказ №309 Міністерства охорони навколишнього середовища України від 26 червня 2006 року. Цим наказом затверджені нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел (гранично допустимий викид для твердих речовин повинен складати: не більше 50 мг/м^3 при масовому витраті понад 500 г/год, не більше 150 мг/м^3 при масовому витраті менш 500 г за годину). Однак, зернового пилу в переліку таких шкідливих речовин немає. У той же час, законодавство однозначно регламентує вміст пилу в робочій атмосфері елеватора або прилеглих об'єктів. Що стосується елеватора, то тут, згідно з СанПіН МОЗ 4617-88 (гранично допустимі концентрації у повітрі робочої зони), величина гранично допустимої концентрації для зернового пилу становить 4 мг/м^3 .

В пропозиціях деяких вітчизняних виробників може бути зазначено не кількість пилу, що міститься у відпрацьованому повітрі зерносушарки, а вміст пилу в 1 м^3 робочої зони елеватора. Такий показник слабо корелюється з запиленості зерносушарки, оскільки більше залежить від розташування робочої зони, пилу, який виділяється іншим елеваторним обладнанням, рози вітрів та інших чинників. Зазвичай такий показник вказують як $2\text{--}4 \text{ мг/м}^3$, щоб він був нижче, ніж граничні допустимі норми, встановлені законодавством.

Виміряти такий показник з метою перевірки взагалі не представляється можливим. Адже вимір запиленості робочої зони потрібно проводити тоді, коли зерносушарка вже попрацює якийсь час. Але в цьому випадку неминуха робота інших, більш заповорошених вузлів елеватора: завальної ями, циклонів та ін. Виникає неоднозначне тлумачення вимог до викидів що ускладнює правильний вибір при закупівлі обладнання, а також можливість конфліктної ситуації при перевірці контролюючими органами вже працюючих зерносушарок.

*Ульянчик Н.В., Фірстов С.О., Коломієць В.В.,
Коряк О.С. Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.Н. Францевича НАН України
Логінова О.Б. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПИТОМУ ПОВЕРХНЮ ТА РОЗПОДІЛ ПОР ПО РОЗМІРАХ У ГРАНУЛАХ КОМПОЗИТІВ З КАЛЬЦІЙ ФОСФАТНОЇ КЕРАМІКИ

Ультразвук (УЗ) широко застосовується в різних галузях фізики, технології, хімії та медицини. Швидкість протікання більшості гетерогенних процесів в звичайних умовах дуже мала і визначається величиною поверхні зіткнення реагуючих компонентів, тому УЗ часто використовують саме для прискорення процесів в рідких та твердих середовищах. Це процеси масообміну, диспергування, поділу рідин і суспензій, кристалізації, полімеризації і деполімеризації і т.д. [1].

В роботі в різних середовищах (водно-гліцериновий розчин, розчин аскорбінової кислоти, дистильована вода та перекис водню) проведено дослідження впливу УЗ на фізико-хімічні властивості двофазної біоактивної кераміки на основі гідроксиапатиту та β -трикальційфосфату з метою встановлення умов підвищення біоактивності та біоцидності обробленої поверхні за рахунок нанесення адсорбцією з розчинів антибіотиків та наночастинок срібла.

В якості вихідного матеріалу використовували різні за розміром гранули з двофазної кальцій фосфатної кераміки, отримані методом хімічного осадження з солей кальцію азотнокислого 4-водного та фосфату амонію 2-заміщеного з подальшою обробкою осаду шляхом сушки, подрібнення, грануляції та відпалу.

Розподіл пор за розмірами у гранулах до та після застосування УЗ визначали методом адсорбції азоту. Питому поверхню ($S_{\text{пит}}$) зразків визначали методом БЕТ, сумарний об'єм пор V_S – з адсорбції азоту при $p/p_S = 0,99$, розподіл пор – методом DFT (density functional theory – теорія функціонала густини).

Встановлено, що для досліджених матеріалів розподіл площі пор та об'єму від їх радіусу залишається сталим. В той же час, дія УЗ обробки призводить до збільшення питомої поверхні гранул, але для гранул менших розмірів вона виявилася більш ефективною та призводила до агломерації більш дрібних фракцій. На нашу думку збільшенню пито-

мої поверхні вихідних гранул після оброблення УЗ сприяє часткове їх подрібнення (диспергування), утворення менших за розміром агломератів (гомогенізація) та очистка поверхні сформованих агломератів від більш дрібних частинок (можливість змивання поверхневого шару кавітаційними потоками).

Таким чином, УЗ обробка сприяє отриманню більш однорідних гранул, підвищенню їх питомої поверхні та здатності до адсорбції антибіотиків та наночастинок срібла для надання поверхням гранул антибактеріальних властивостей, що в подальшому перспективно для використання при пластиці кісткових дефектів в випадках можливості виникнення запальних процесів [2]. В табл. 1 та на рис. 1 наведено отримані результати для зразків, оброблених водно-гліцериновим розчином.

Таблиця 1 – Питома поверхня зразків гранул двофазної кальційфосфатної кераміки розміром 1 мм (ГТ-1) та 300 мкм (ГТ-300)

Обробка	$S_{\text{пит}}, \text{м}^2/\text{г}$	
	ГТ-1	ГТ-300
Вихідна	10	11
Оброблена водно-гліцериновим розчином з застосуванням УЗ та висушена при 200 °С	23	17

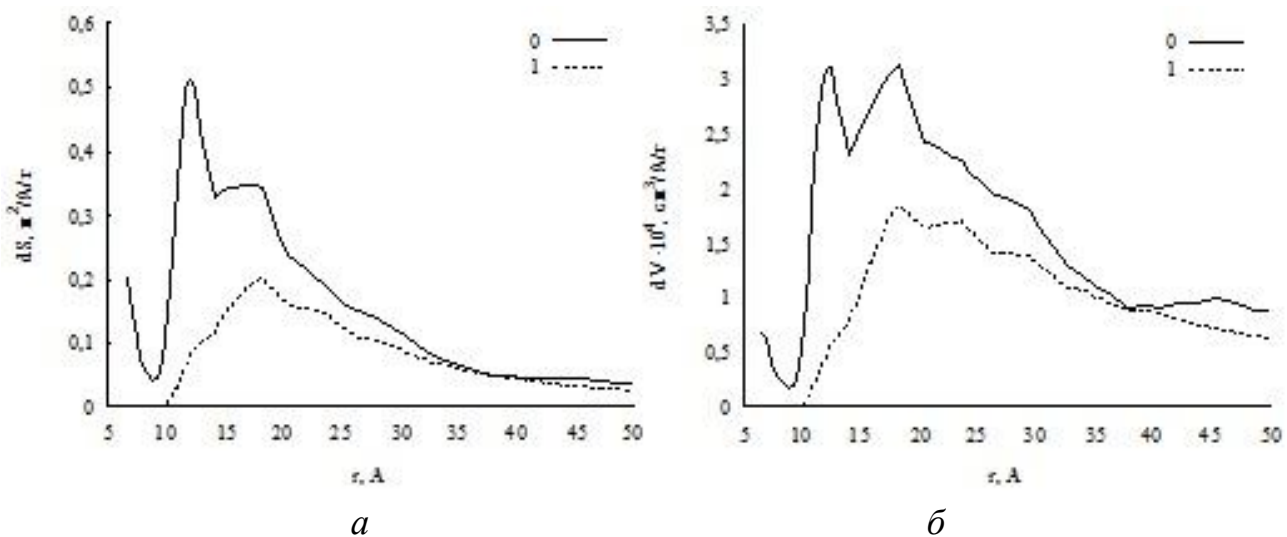


Рис. 1 – Залежність площі пор (а) та об'єму (б) від їх радіусу для зразка до (0) та після (1) УЗ обробки водно-гліцериновим розчином

Литература

1. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков и др. – Электронный ресурс: www.u-sonic.ru

2. Кістерська, Л.Д. Створення антибактеріальної поверхні частинками наносрібла на імплантатах із біоактивним покриттям / Л.Д. Кістерська, О.Б. Логінова, Н.В. Ульянович и др. // Порошковая металлургия – 2019. – № 3/4. – С. 85–95.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк, Украина

РАЗВИТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Поверхностные явления играют решающую роль в поведении инженерных конструкций; их понимание и возможность управления имеют фундаментальное значение для развития многих отраслей науки и техники: машиностроения, электроники, информационных технологий, энергетики, оптики, трибологии, строительства, биологии и бионики. Конструирование поверхностей и поверхностных слоев элементов инженерных конструкций должно основываться на учете и обеспечении определенных характеристик поверхности для получения желаемых функциональных свойств поверхностей. Взаимосвязи между сферами практического применения, функциональными свойствами и технологиями инженерии поверхности весьма сложны. Надлежащее использование подходов инженерии является одним из условий обеспечения качества и конкурентоспособности многих видов продукции.

Изменение параметров микрогеометрии поверхности влияет на протекание различных поверхностных явлений и функциональные свойства поверхности. При разработке и использовании изделий целесообразно учитывать возможность целенаправленного использования различных свойств поверхности, а определенные функциональные свойства могут лежать в основе различных применений. Например, адгезия контролируется смачиваемостью поверхности (т.е. свободной энергией), микрогеометрией и склонностью к схватыванию. Среди различных физических наиболее важными для инженерии поверхности являются свойства, касающиеся поверхностной энергии, оптических явлений, тепловых характеристик, а также электрических и магнитных свойств.

Свойства поверхностей и поверхностных слоев подразделяют на три группы: физические, биологические и технические. К основным физическим свойствам относятся: *поверхностная энергия*, определяю-

щая такие явления, как капиллярность, смачивание и адгезия; *оптические* (отражательная способность, светопоглощение, дифракция); *термические*. Биологические свойства характеризуют взаимодействие биоматериала с организмом-хозяином. Технические свойства подразделяются на *механические* (предел выносливости, твердость), *гидродинамические* и *трибологические* (трение, износ, заедание)

Поверхностная энергия управляет многими свойствами, определяющими функциональность поверхностей в различных инженерных применениях. Одним из важных явлений является смачиваемость. Приложение электрического поля позволяет управлять смачиванием. Усиление эффекта электросмачивания металлов достигается модифицированием поверхностного слоя и нанесением изолирующих пленок.

Из *оптических* свойств одним из важнейших является отражательная способность, зависящая не только от материала, но и шероховатости отражающей поверхности. Шероховатость влияет на коэффициент отражения поверхности.

Термические свойства относятся к механизмам теплопередачи, которые могут происходить за счет теплопроводности или излучения. Конвективная теплопередача основана на комбинированном воздействии теплопроводности и потока жидкости и считается третьим механизмом теплопередачи, собственно конвективного переноса и теплопроводности

Биологические свойства, характеризующие взаимодействие поверхности в месте контакта биоматериала с организмом-хозяином. Адсорбция биомакромолекул имеет решающее значение для биосовместимости.

Гидродинамические свойства имеют большое влияние на применение структурированных поверхностей. В малых масштабах (диаметры каналов от 100 нм до нескольких сотен микрометров) поверхностные силы преобладают по сравнению с массовыми силами, а такие факторы, как поверхностное натяжение, диссипация энергии и гидравлическое сопротивление, управляют системой. Поэтому поток жидкости в микромасштабе действует иначе, чем в макроскопическом масштабе.

Теплообменные поверхности. Изменение формы поверхностей способствует развитию турбулентности в потоках теплоносителей (прежде всего в однофазных потоках) без существенного увеличения площади поверхности теплообмена. Геометрические характеристики данных поверхностей охватывают широкий диапазон шероховатостей – от зернистой (песочной) до дискретных трехмерных поверхностных выемок и/или выступов. В зависимости от геометрических параметров используемой шероховатой поверхности интенсификация теплоотдачи при од-

нофазном турбулентном течении повышается в 2,5–3,5 раза, при кипении увеличиваются критические тепловые потоки на 50–200%, а при конденсации коэффициенты теплоотдачи возрастают от 30% до 5 раз.

Микроструктурированные поверхности играют важную роль в конвективном теплообмене между потоками жидкости или газа и поверхностью твёрдого тела. Управление удельной поверхностной энергией обеспечивается текстурированием поверхности и используется в теплообменниках с высокими тепловыми потоками при охлаждении разбрызгиванием (испарительное или струйное капельное), применяемое в суперкомпьютерах, космических кораблях, лазерно-диодных матрицах, многокристалльных интегральных схемах, при закалке металлов и др.).

Известно много исследований, показывающих улучшенные охлаждающие характеристики структурированных поверхностей по сравнению с гладкими поверхностями при том же перегреве стенок. Например, увеличение теплового потока от 2 до 5 раз для поверхностного перегрева в диапазоне 2–3 К наблюдалось с микропирамидальными структурами (пирамиды высотой 75, 150 и 225 мкм и соответствующей шириной 150, 300 и 450). Меньшие пирамидальные структуры показали самый крутой температурный градиент, предлагая такую геометрию для приложений, требующих постоянной температуры стенок в широком диапазоне тепловых потоков [1].

Основным видом двухфазного теплообмена, при котором теплота передается от нагретой стенки к нагретой до температуры насыщения жидкости в месте их контакта, является пузырьковое кипение. Несмотря на значительные коэффициенты теплоотдачи при кипении даже на гладких поверхностях, развитие современных технологий, в первую очередь электронных устройств, требует дальнейшего увеличения коэффициентов теплоотдачи для отвода больших удельных тепловых потоков с относительно малых площадей. Интенсивность процесса теплоотдачи обусловлена динамикой формирования, роста и отрыва пузыря пара от нагретой поверхности [2].

Интенсификация теплоотдачи при кипении на микроструктурированных поверхностях имеет значительное значение для промышленного применения и позволяет существенно уменьшить размеры систем охлаждения и теплообменного оборудования.

Разработка структурированных поверхностей для интенсификации процесса кипения основываются на основном правиле – создание большого количества центров парообразования или ловушек пузырьков пара на поверхности, что приводит к более раннему началу кипения или кипе-

нию при более низких температурных напорах. Это особенно важно для процессов кипения жидкостей, хорошо смачивающих поверхности (например, фреоны, органические жидкости, криогенные жидкости, и щелочные жидкие металлы). Специальной обработкой поверхности (механическая обработка, формование или нанесение покрытий) можно создать открытые полости (полузакрытые выемки), которые «захватывают» пузырьки пара на поверхности и способствуют дальнейшему парообразованию в жидкостях с малыми силами поверхностного натяжения.

Теплообменные поверхности, полученные деформационным резанием, в виде двух- и трехмерных микрооребранных поверхностей и канальных структур позволяют существенно повышать теплоотдачу и критические тепловые потоки при кипении жидкостей. Наибольшая интенсификация теплоотдачи свойственна поверхностям с трехмерными столбчатыми и канальными структурами – с 3 до 9 раз. В последние годы развиваются исследования характеристик кипения на поверхностях с нанорельефом.

Микрофлюидика (микрогидродинамика) изучает закономерности поведения жидкостей и газов, движущихся по узким каналам внутри герметичных миниатюрных устройств – микрочипов. Применение микрофлюидных модулей в медицине, биологии, фармацевтике, в промышленности и других областях открывает новые возможности по существенному снижению стоимости, энергоемкости, сложности и длительности исследований и анализов.

Структурированные поверхности играют большую роль в оптике (метрологии поверхности, микрооптика, терморегулирующие покрытия).

Биоинженерия. Исследования в области нанотехнологий, микро-техники и биоинженерии позволяют характеризовать, проектировать, изготавливать и приспособливать функциональные свойства поверхностей для большого количества биомедицинских приложений (регенерация тканей и органов, реконструкция костей, керамические каркасы и биочипсы).

Структурирование применяют для очистки, получения чистых и сухих поверхностей, а также для повышения производительности и эффективности процессов обработки материалов.

Расширяется перечень функциональных покрытий, кроме широко известных покрытий триботехнического назначения, для защиты от коррозии и теплозащитных, обеспечивающие проявление тех или иных поверхностных свойств, совершенствуются и разрабатываются новые виды покрытий. *Антибактериальные* покрытия защищают поверхности

или препятствуют развитию вредных микроорганизмов, использующие три подхода: создание антиадгезионной поверхности; создание покрытий, способных выделять антибактериальные вещества или препятствующее размножению бактерий. *Противообрастающие* покрытия обеспечивают защиту от обрастания растениями подводных металлоконструкций. *Гидрофобные* покрытия придают поверхности высокие водоотталкивающие свойства, которые имеют несколько преимуществ, таких как уменьшенное время контакта с коррозионными агентами или способность к самоочистке, создаваемая скатыванием капель воды, которая уносит грязь. *Антиобледенительные* покрытия применяют для предотвращения обледенения оборудования. Расширяется применение покрытий с *электромагнитными* (толстопленочная электроника) и *электрохимическими* (электрохимические ячейки для преобразования энергии и для электролиза воды) свойствами, покрытия для *резистивного нагрева*, *электроизоляционные* и др.

Из интеллектуальных покрытий следует отметить *датчики* (сенсоры) для измерения температуры, тензодатчики и др., *самозалечивающиеся*, *самовосстанавливающиеся* и *самосмазывающиеся* покрытия.

Возрастает количество исследований влияния текстурирования поверхностей на их функциональное поведение при различных условиях эксплуатации (контактного теплообмена и силового нагружения, трения и износа, адгезионного взаимодействия и др.). Выявлен преобладающий эффект 3D параметров микротопографии поверхности и невозможность полной оценки функциональных характеристик поверхностей и деталей с помощью стандартных 2D-параметров шероховатости. Наглядно потребность в 3D-параметрах характеризует контактирование твердых тел. Фактическая и контурная площади контакта определяются деформированием вершин микровыступов шероховатости и макровыступов волн соответственно. Для более точного определения фактической и контурной площадей контакта необходимо знать не только высотные, но и поверхностные параметры (топографию) микрогеометрии контактирующих поверхностей. К основным группам 3D-параметров микро-топографии поверхности в соответствии со стандартом ISO 25178 относятся: высотные (В); амплитудные (Ам); пространственные (П); гибридные (Г); функциональные (Ф). Например, на адгезионные свойства поверхности существенное влияние оказывают параметры В, Ам, Ф; некоторое влияние – Г; незначительное влияние – П. Это обуславливает необходимость развития и более широкого применения трехмерных-3D методов оценки шероховатости функциональных

поверхностей. Известно также достаточно много комплексных параметров качества поверхности, однако они основаны на 2D параметрах. Представляется необходимым поиск и разработка комплексных критериев оценки качества различных функциональных поверхностей на основе 3D-параметров микрогеометрии и физико-химических свойств.

Литература

1. Stodke, C. Spray Cooling on Micro-Structured Surfaces / C. Stodke, P. Stephan // Inter. J. of Heat and Mass Transfer. – 2007. – 50. – P. 4089–4097.
2. Гортышов, Ю.Ф. Кипение воды на микроструктурированных поверхностях / Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, Н.Н. Зубков и др. // Тр. Академэнерго. – 2012. – №1. – С. 14–31.

Харламов Ю.А. Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк,
Клименко С.А. Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Основными показателями качества поверхностей трения являются: макроотклонения размеров и формы (отклонение от плоскостности, цилиндричности и др.); волнистость; шероховатость; остаточные напряжения; структура основного материала детали; структура поверхностного слоя; текстура микрорельефа поверхности (направление следов обработки, наличие специального маслостойкого рельефа и пр.) [1]. Исходные показатели качества поверхности в процессе трения изменяются [2]. Исключение составляют остаточные напряжения и структура основного материала, которые могут сохраняться до полного разрушения трущихся поверхностей деталей. В большинстве случаев уже в период приработки существенно меняются шероховатость и структура поверхностного рельефа. Волнистость и структура поверхностных слоев детали изменяются при установившемся изнашивании, а геометрическая форма поверхности трения остается в пределах допускаемых значений, принятых при изготовлении, практически до конца службы узла трения, если

оценка его работоспособности производится по параметрам точности. Схема изменений исходных показателей качества поверхности трения в процессе эксплуатации узла трения представлена на рис. 1, где показаны: 1 – точность размеров и форма (отклонение от плоскостности, цилиндричности и др.); 2 – волнистость; 3 – шероховатость; 4 – остаточные напряжения; 5 – структура основного материала; 6 – структура поверхностных слоев; 7 – текстура микрорельефа; 8 – интенсивность изнашивания; 9 – коэффициент трения; средняя температура поверхности трения, I – изменение размера поверхности трения; t – время. Встречаются случаи, когда определяющую роль в обеспечении работоспособного состояния поверхности трения играют параметры шероховатости, текстуры микрорельефа, формы изношенной поверхности и др. Обеспечением качества поверхностного слоя (ПС) деталей необходимо заниматься на всех стадиях их жизненного цикла.

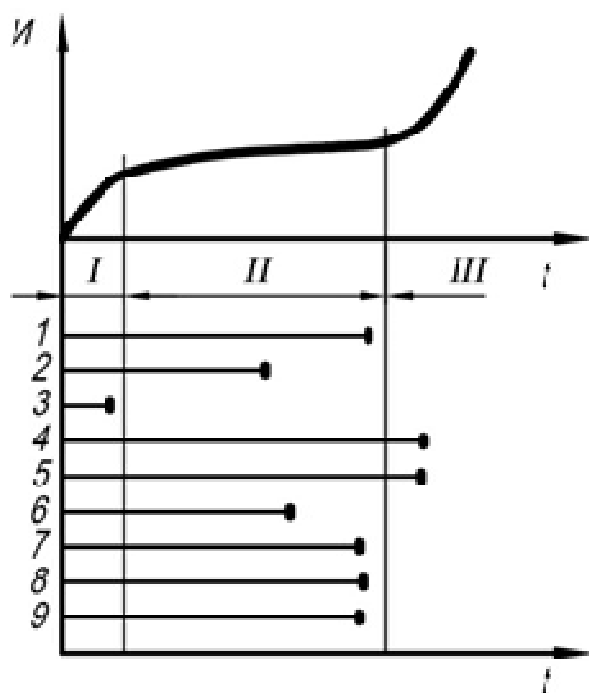


Рис. 1 –Схема изменения начальных показателей качества поверхности и выходных параметров триботехнической системы (ТС) в процессе трения в пределах допустимых отклонений (I – участок приработки; II – участок нормального изнашивания; III – участок форсированного изнашивания)

существующих или разрабатываемых изделий, разработка моделей и систем для прогнозирования значений параметров качества ПС от условий эксплуатации и режимов обработки, расчет пар трения и трибофатических систем на прочность, износостойкость, надежность, долговечность; и пр.

На этапе ОКР выполняют: анализ и отработку конструкции деталей и узлов трения на соответствие триботехническим принципам проектирования; определение предельного износа узлов трения и их деталей, сроков их службы, ремонтпригодности и вероятности безотказной работы; окончательный выбор материалов деталей, определение размеров

поверхности (при необходимости толщины упрочняемого поверхностного слоя), ее формы, параметров макроотклонений, волнистости, шероховатости и физико-химических свойств, обеспечивающих оптимальные долговечность и ремонтпригодность с наименьшими затратами. Для ответственных деталей уточняются требования к выбранному основному материалу детали и методу его получения. При возможности изготавливают опытные детали с поверхностным упрочнением и проводят их предварительные испытания на стендах или опытных образцах изделий,

На этапе технологической подготовки производства рассматриваются варианты маршрутных технологических процессов (ТП) с учетом влияния технологической наследственности на параметры качества ПС на всех стадиях изготовления деталей: изготовление материалов и их входной контроль, производство заготовок, механическая обработка, подготовка поверхностей к упрочняющим операциям, операции упрочняющей обработки, механическая отделочная обработка упрочненных поверхностей. Рассматривается возможность совмещения формообразующих операций с упрочняющими, например, получение модифицированных слоев при получении отливок. При необходимости проводится доработка конструкции детали с учетом выбранных методов поверхностного упрочнения. В маршрутном ТП предусматриваются технологические операции как для подготовки поверхности к упрочнению, так и для обработки упрочненного слоя. Разрабатываются системы управления и контроля параметров качества ПС, требования к оборудованию и персоналу. Выполняется оценка надежности технологических систем (ТС).

На этапе изготовления последовательно практически на всех технологических переделах, операциях или переходах происходит формирование качества поверхностного слоя деталей в соответствии с закономерностями технологической наследственности. Технологический процесс должен обеспечивать получение значений контролируемых ПКПС в пределах допусков и стабильности соблюдения этих условий.

На протекание ТП оказывают влияние управляемые, трудноуправляемые и неуправляемые факторы. Например, при механической обработке к переменным факторам ТС относят основные параметры режимов резания, износ рабочей поверхности инструмента, погрешности, вызванные геометрической неточностью оборудования, жесткость ТС. Разнообразие подготовительных, упрочняющих и последующих операций и соответственно большое количество влияющих факторов существенно усложняет управление ТП. Поэтому для повышения надежности управле-

ния ТП следует ранжировать влияющие факторы по степени влияния, а также обоснованно назначать допуски на контролируемые ПКПС. Увеличение величины допуска на контролируемый параметр надежность ТП повышается. Для обеспечения надежности процессов изготовления деталей машин по ПКПС применяют методы экспериментального и расчетного моделирования ТП, управления технологической наследственностью, создают системы по контролю и управлению качеством ТП.

На этапе эксплуатации работоспособность поверхностей обеспечивается надлежащим техническим обслуживанием, совершенствованием процессов приработки и смазочных материалов, применением восстановительных присадок и пр. Все большее внимание уделяется проблеме восстановления изношенных деталей. Разработка ТП восстановления деталей является не менее сложной, чем изготовление новых деталей, и здесь во многом сохраняются требования для всех стадий жизненного цикла (НИР, ОКР, технологическая подготовка, эксплуатация).

На этапе утилизации может потребоваться удаление упрочненных ПС, содержащих дорогостоящие и дефицитные материалы, для переработки для дальнейшего повторного использования, или если упрочненные ПС затрудняют дальнейшую переработку утилизированных деталей.

Литература

1. Инженерия поверхности деталей / под ред. А. Г. Суслова. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах / под ред. М.Л. Хейфеца. – Беларуская навука, 2019. – 248 с.

Хімічева Г.І., Волівач А.П. Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ ЗВО

Згідно з Законом України «Про вищу освіту» [1], освітня програма (ОП) є однією з основних структурних складових освітнього процесу ЗВО. Від якості функціонування ОП залежить конкурентоспроможність майбутніх фахівців на внутрішньому і зовнішньому ринку праці. Проте для цього потрібно мати спеціальні механізми та інструменти для її

оцінювання та модернізації за вимогами стейкхолдерів. Тому дослідження пов'язані з розробленням методики щодо визначення рівня достовірності якості освітніх програм є актуальними й своєчасними. Метою даних досліджень є розроблення методики оцінювання рівня достовірності ОП шляхом застосування нечіткого кластерного аналізу.

Дані дослідження є продовженням робіт по оцінюванню рівня якості функціонування ОП [2].

Визначення оптимальної кількості кластерів проводилось за наступним по кроковим алгоритмом наведеним в [3]:

Встановлення параметрів k , m , ε , де: k – кількість кластерів, m – параметр експоненціальної ваги, ε – критерій зупинки.

Генерація матриці нечіткого розбиття F (випадковим методом).

$$\text{Розрахунок центрів кластерів: } V_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m X_i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m}, j = \overline{1, k}.$$

Розрахунок відстані між об'єктами та центрами кластерів:

$$d_{ij} = \sqrt{\|X_i - V_j\|^2}.$$

Перерахунок елементів матриці нечіткого розбиття

$$\mu_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\left(d_{ji}^2 \sum_{l=1}^k \frac{1}{d_{li}^2}\right)^{1/(m-1)}}, d_{ij} > 0 \\ \begin{cases} 1, d_{ij} = 0, i = j \\ 0, d_{ij} = 0, i \neq j \end{cases} \end{cases}.$$

Перевірка умови зупинки: при $\|F - F^*\| < \varepsilon$ процедура закінчується, у випадку невиконання умови потрібно перейти на крок 3).

Для дослідження було використано результати акредитації 65 ОП другого (магістерського) рівня вищої освіти [4]. Освітні програми, що досліджувались охоплювали 14 галузей знань, акредитація цих програм була проведена відповідно до вимог [5, 6].

В ході досліджень за допомогою сплайн-регресії спочатку було визначено оптимальну кількість кластерів [7]. У нашому випадку вона дорівнює чотирьом. Перевірка оптимальності та достатньої кількості кластерів проводилась за допомогою макросів VBA [8]. Для цього були визначені параметри нечіткого кластерного аналізу: внутрішньо групове розсіювання, міжгрупове розсіювання та якість розбиття. Результати наведені в табл. 1. Потім масив освітніх програм (у нашому випадку їх

65) було структуровано на чотири кластери. Фрагмент отриманих результатів наведено в табл. 2.

Таблиця 1 – Параметри нечіткого кластерного аналізу

Параметр експоненціальної ваги	2
Критерій зупинки	0,00001
Внутрішньо групове розсіювання	100,75131
Міжгрупове розсіювання	76,85760
Якість розбиття	0,43263

Таблиця 2 – Розбиття 65 ОП на 4 кластери

Назва об'єкту	Номер кластера				Макси- мальне значення	Приналеж- ність до кластеру	Вид акредитації
	1	2	3	4			
ОП1	0,33151	0,17831	0,37106	0,11912	0,37106	3	акредитована
ОП2	0,10361	0,28688	0,08354	0,52598	0,52598	4	умовно (відкладена) акредитація
ОП4	0,04418	0,70705	0,03219	0,21658	0,70705	2	
ОП3	0,45992	0,13732	0,30791	0,09484	0,45992	1	зразкова
...	...	...	...	...	...	...	...
ОП60	0,82640	0,02090	0,14078	0,01191	0,82640	1	акредитована
ОП61	0,13156	0,30339	0,11396	0,45108	0,45108	4	відмова в акредитації
ОП62	0,35826	0,14269	0,40637	0,09268	0,40637	3	акредитована
ОП63	0,09814	0,65476	0,08351	0,16359	0,65476	2	умовно (відкладена) акредитація
ОП64	0,11348	0,39504	0,09531	0,39616	0,39616	4	
ОП65	0,11243	0,40234	0,09401	0,39122	0,40234	2	
Wj/n	0,3925	0,3786	0,3950	0,3840			
S/n	2,7319	2,7319	2,7319	2,7319	0,2632		
d2jmax	1,1439	1,2768	1,6749	2,2835			
Кластер?	Так	Так	Так	Так			
Сгущення?	Так	Так	Так	Так			

Проведений аналіз отриманих результатів (табл. 2) показав, що при розбитті 65 освітніх програм на чотири кластери. До 1-го кластера відносяться 23 ОП. Серед яких 3 ОП мають рівень акредитації – «зразкова», 1 ОП «умовно відкладена», 19 ОП – «акредитовані». До 2-го кластера відносяться – 13 ОП, які є «умовно відкладеними». До 3-го кластера відносяться – 13 ОП, які мають наступні рівні акредитації: 1 – «зразкова» та 12 – «акредитовані». До 4-го кластера відносяться 16 ОП, з них 9 ОП – «умовно відкладені» і 7 ОП – «відмовлено в акредитації».

Як видно з табл. 2 отримані результати розбиття масиву 65 ОП на чотири кластери є оптимальним і достатнім. Це обумовлюється отриманими параметрами сплайн-регресії (див. табл. 1).

В ході досліджень також було визначено рівень достовірності якості оцінювання освітніх програм. Для цього було проведено аналіз результатів отриманих галузевою експертною радою (ГЕР) [4] та результатів отриманих шляхом застосування нечіткого кластерного аналізу (див. табл. 1, 2).

Отже, проведений аналіз довів, що застосування нечіткого кластерного аналізу дозволяє більш достовірно оцінювати якість функціонування освітньої програми. Це пов'язано з тим, що результати ГЕР мають лише якісну характеристику, а результати отримані за допомогою нечіткого кластерного аналізу мають, як якісну, так і кількісну характеристику. Тобто такий підхід до оцінювання рівня достовірності функціонування якості ОП дозволяє зменшити суб'єктивну похибку і є більш перспективним.

Література

1. Про вищу освіту : Закон України № 2443 – VIII від 22.05.2018 [Електронний ресурс].–Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Хімічева, Г.І. Побудова кваліметричної моделі для оцінювання якості освітньої програми / Г.І. Хімічева, А.П. Волівач // Вісник інженерної академії України. – 2020. – № 1. – С. 129–135.
3. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
4. Реєстр акредитаційних справ // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naqa.gov.ua/%d0%b0%d0%ba%d1%80%d0%b5%d0%b4%d0%b8%d1%82%d0%b0%d1%86%d1%96%d1%8f/>
5. Положення про акредитацію освітніх програм, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-19>.
6. Критерії : Додаток до Положення про акредитацію освітніх програм, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти (пункт 6 розділу І) // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0880-19#n182>.
7. Кузьмін, В.М. Використання полігональної регресії в економічних дослідженнях / Кузьмін В.М., Лапач С.М. // Економіка і управління. – 2004. – №3. – С. 79–84.

8. Лапач, С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – К. : Морион, 2001. – 408 с.

Худзицкий П.Г. ГП «Ивченко-Прогресс»,
Запорожье, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ 3D СКАНЕРА В УСЛОВИЯХ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ГП «ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС»

Сфера деятельности государственного предприятия «Ивченко-Прогресс»: проектирование, изготовление опытных образцов, проведение испытаний опытных образцов, поддержка летных испытаний опытных образцов; авторское конструкторское сопровождение производства и эксплуатации серийных авиационных двигателей, а также проектирование модификаций авиационных двигателей гражданского и военного применений; техобслуживание, ремонт авиационных двигателей, и изготовление компонентов к ним; проектирование, производство, ремонт и техническое обслуживание газотурбинных приводов промышленного назначения; проектирование, монтаж и техническое обслуживание средств пожаротушения.

Надежность газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от надежности работы лопаток компрессора и турбины, так как они являются наиболее нагруженными деталями. Они находятся в потоке газа и предназначены для изменения его параметров. Температура газа в компрессоре достигает 600 °С, в турбине – 1200 °С. Многократное изменение тепловых режимов работы двигателя вызывает циклическое изменение термических напряжений. Лопатка помимо растяжения и изгиба от центробежных сил, изгиба и кручения от газового потока испытывают переменные напряжения от вибрационных нагрузок, амплитуда и частота которых изменяются в широких пределах. Лопатка ГТД представляет собой изделие с очень сложной геометрической формой, и задача контроля геометрии лопаток ГТД стоит очень остро. В процессе производства контролю подлежат десятки геометрических параметров лопатки, определяемые требованиями конструкторской и технологической документации. Таким образом, на контроль лопаток компрессора и турбины ГТД, приходится более половины от общего количества кон-

тролируемых изделий. Принимая к рассмотрению пространственную сложность формы лопаток ГТД, для обеспечения подобных объемов контроля необходимо проводить измерения многих десятков геометрических параметров для каждой лопатки. Средства измерения, используемые в настоящий момент в большинстве своем, устарели. Подобные средства измерения связаны с субъективной человеческой составляющей. Высокие требования к качеству продукции определяют и предъявляют высокие требования к квалификации контролеров, их обучению и оплате труда. Основным способом реализации технологий контроля геометрических параметров авиационных ГТД традиционно является проектирование специальных контрольно-измерительных приспособлений (КИП). Они зачастую рассчитаны на контроль одного или нескольких геометрических параметров. Контрольно-измерительные приспособления позволяют определять действительные значения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей в пределах допустимой погрешности. Такой подход имеет ограничения, связанные с необходимостью изготовления широкой номенклатуры контрольно-измерительных приспособлений и, соответственно, большими затратами на контроль деталей, что особенно накладно для опытного и мелкосерийного производства. Кроме того, невозможно быстро освоить производство новых изделий, так как процесс проектирования, изготовления и аттестации КИП является достаточно длительным.

Перспективным подходом к построению технологий контроля является использование современных оптических 3D сканеров. Эти средства контроля характеризуются широкой универсальностью, достаточно высокими точностными характеристиками. Важным преимуществом оптических 3D сканеров по сравнению с контрольно-измерительными приспособлениями является возможность исследования геометрии поверхностей деталей с требуемой дискретностью по сравнению с реализуемым двух- и трехточечным подходом в контрольно-измерительных приспособлениях. В комплексе с современными компьютерными технологиями поддержки, обработки и визуализации данных, применение оптических 3D сканеров позволяет проводить глубокий всесторонний анализ измеряемых размеров, формы и взаимного расположения участков деталей.

Принцип работы 3D сканера. Принцип работы 3D сканера определяется технологией сканирования. При помощи подсветки и встроенных камер аппарат измеряет расстояние до объекта с разных ракурсов. Затем сопоставляются картинки, передаваемые камерами. После

анализа всех полученных данных, на экране отображается готовая цифровая трехмерная модель.

Использование 3D сканера на ГП «Ивченко-Прогресс». ГП «Ивченко-Прогресс» в январе 2020 года приобретен 3D сканер ATOS Core 5M (Professional line) с измерительными головками ATOS Core 135 и ATOS Core 300. Краткие технические характеристики ATOS Core приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Технические данные ATOS Core (в мм)

Измерительные головки	ATOS Core 135	ATOS Core 300
Измерительный объем	135×100	300×230
Расстояние измерения	170	440
Шаг между точками	0,05 мм (0,09)*	0,12 (0,18)'

Таблица 2 – Технические параметры ATOS Core

Модель	Расстояние между измеряемыми точками, мм	Объем измерений: ось X, ось Y, ось Z, мм	Калибровочный объект	Предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении отклонений формы, мм	Предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении длины, мм
ATOS Core 135	0,050	135×100×100	панель	0,003	0,021
ATOS Core 300	0,115	300×230×230		0,006	0,042
Точность измерения		Для каждого объема измерений поставляется аттестованная калибровочная пластина или перекрестие			
Количество точек		5 000 000 за 3 с			

Выполнение контроля на 3D сканере ATOS выполняется с использованием математических моделей контролируемых деталей. Результат контроля может быть представлен в виде цветного трехмерного изображения, где различными цветами показываются величины отклонений от математической модели по нормали к поверхности математической модели в данной точке в соответствии с приведенной цветовой диаграммой. Приведенные таким образом результаты контроля дают

общее представление о соответствии контролируемой детали требованиям конструкторской документации.

Для определения других параметров, оговоренных чертежом, необходимо выполнить дополнительные преобразования результатов контроля. Частично это возможно реализовать в рамках стандартного программного обеспечения. Для детального анализа результатов контроля необходимо выполнить дополнительные процедуры в ручном режиме.

Использование 3D сканера ATOS Core 5M на ГП «Ивченко-Прогресс»:

- выполнение контроля пресс-форм для отливок выплавляемых моделей рабочих и сопловых лопаток турбин, стержневых пресс-форм вновь разрабатываемых двигателей;
- выполнение контроля геометрии моделей деталей (колес турбин), напечатанных на 3D принтере;
- выполнение контроля отливок рабочих и сопловых лопаток турбин вновь разрабатываемых двигателей;
- контроль рабочих лопаток компрессоров и турбин при выполнении входного контроля деталей и сборочных единиц двигателей, изготовленных по кооперации;
- выполнение контроля деталей со сложной пространственной конфигурацией при различного рода исследованиях.

Выполнение данных работ показало высокую эффективность использования 3D сканера ATOS а именно:

- выполнение контроля хрупких деталей (напечатанных на 3D принтере) без использования мерительного инструмента;
- высокая оперативность обработки результатов контроля;
- отсутствие необходимости проектирования и изготовления контрольной оснастки, что особенно важно на этапе опытного производства, где высока вероятность внесения изменений в конструкцию деталей и сборочных единиц вновь разрабатываемых двигателей;
- отсутствие необходимости изготовления контрольной оснастки или использования оснастки завода-изготовителя при выполнении входного контроля деталей и сборочных единиц двигателей, изготовленных по кооперации.

Применение 3D сканера существенно повысило оперативность и снизило трудозатраты на выполнение контроля деталей и сборочных единиц при изготовлении и доводке вновь разрабатываемых двигателей. Примеры выполнения обмеров деталей с использованием 3D сканера приведены на рис. 1 и 2.

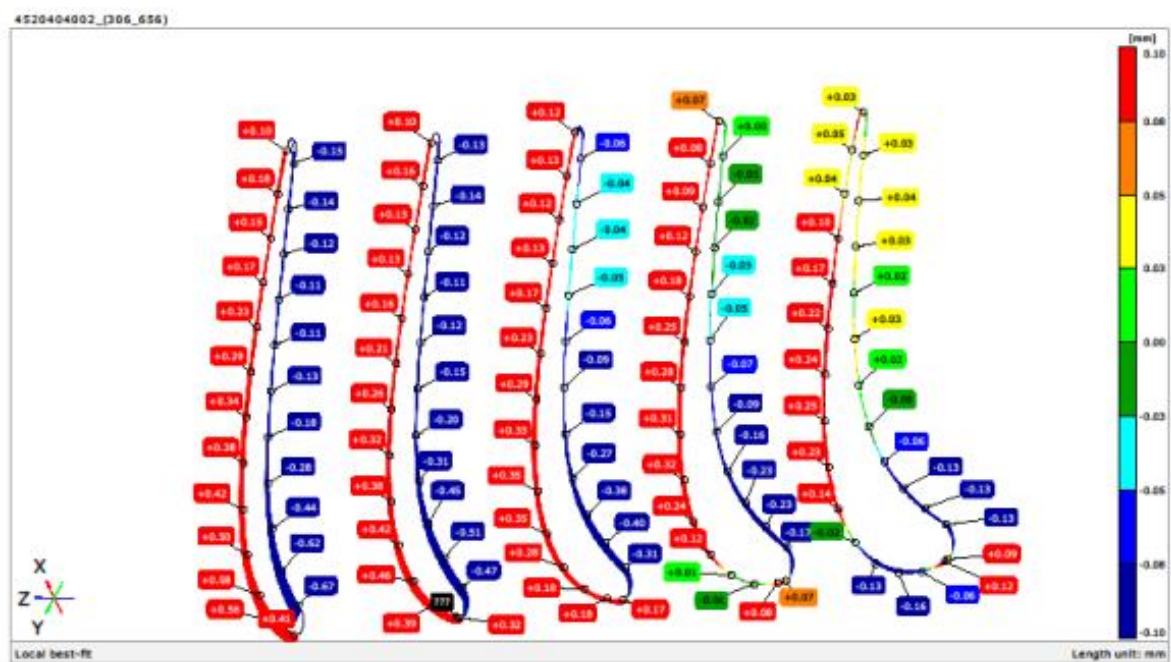


Рис. 1 – Обмеры лопатки свободной турбины

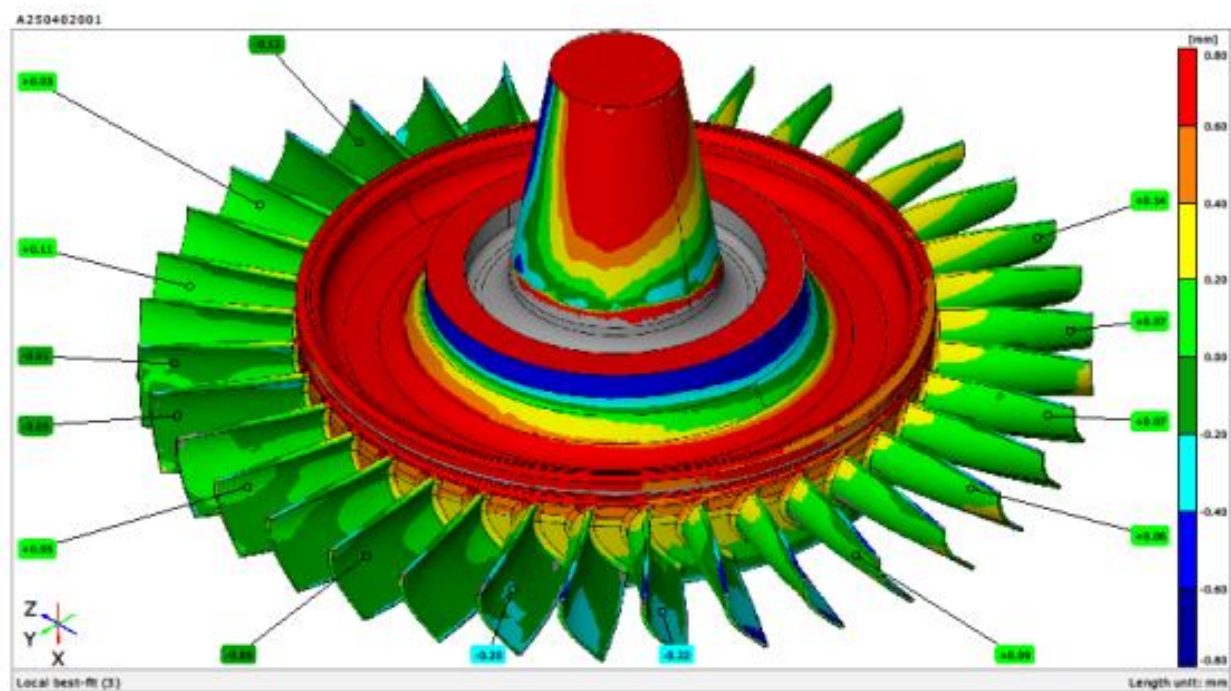


Рис. 2 – Обмеры лопаток колеса турбокомпрессора (отливка)

Черновол М.И. Центральноукраинский национальный
технический университет, Кропивницкий, Украина
Лопата Л.А., Кобзарь В.Л. Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины,
Лопата А.В., Смирнов И.В. НТУ Украины
«КПИ имени Игоря Сикорского», Киев, Украина
Дудан А.В. Полоцкий государственный университет,
Новополоцк, Беларусь

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДГЕЗИИ ПОКРЫТИЙ

Независимо от области применения покрытий прочность сцепления является основным фактором, определяющим его пригодность. Рост адгезионной прочности повышает защитные способности и надежность покрытия. Вопросы адгезионной прочности затрагивают покрытия, клеевые и паяные соединения, биметаллы, композитные материалы с металлической, полимерной и кристаллической матрицей [1].

В технической литературе адгезия трактуется как возникновение связи между поверхностными слоями двух разнородных тел, приведенных в соприкосновение. Такие тела принято называть адгезив (покрытие) и субстрат (основа). В случае однородных тел, адгезия тождественна когезии. Взаимодействие между адгезивом и субстратом, ведущее к прочной связи, характеризуется явлением, которое находит свое отражение в ряде гипотез и теорий, относящихся к областям механики и физической химии [2].

Одной из первых, предложенных для объяснения процессов сцепления, как результат заклинивания материала покрытия в микродефектах поверхности основы, была гипотеза «механической» адгезии. Согласно этой гипотезе впоследствии была разработана микрореологическая теория, в которой адгезионная прочность рассматривалась как понятие, связанное с увеличением фактической площади контакта. Для понимания данной теории использовалась теория упругости. Необходимо заметить, что современная трактовка «механической» теории адгезии не полностью исключает возможность взаимодействия компонентов за счет физических и химических процессов. Однако их долю считают несущественной и не учитывают [2, 3].

Ограниченность представлений об адгезионном взаимодействии только с позиции «механических» связей очевидна. Механическая связь – это сопутствующая, но не основная причина образования прочного соединения разнородных материалов.

Многочисленными экспериментальными данными доказано, что наибольшее практическое значение на образование прочных адгезионных связей оказывают физико-химические процессы. При этом характер связей может определяться количественным термодинамическим анализом. Последний необходим для обоснования выбора состава покрытия и основы с максимальным согласованием их свойств [2, 3].

Следует отметить, что при выборе рациональной технологии и режимов формирования покрытий особую важность приобретает кинетические оценки указанных свойств.

Адгезионное взаимодействие с образованием прочного соединения происходит в результате контакта и слияния очагов по всей поверхности. Такой процесс образования связей имеет термофлуктуационную природу и может рассматриваться, как указывает автор работы [2] с позиции активированного комплекса. Его суть заключается в следующем: в окрестностях деформационных выступов, в местах выхода в зону дислокаций и их скопления возникают поля упругих искажений, которые являются активными центрами взаимодействия. В пределах таких центров происходит разрыв или трансляция валентных связей с образованием между атомами соединяемых поверхностей новых. Многообразие явлений, происходящих на границе раздела фаз и описываемых теорией активированного комплекса, нашло отражение в ряде теорий взглядов, порою противоречиво трактующих адгезионную связь. К ним в свою очередь следует отнести: адсорбционную, электрическую, электромагнитную, химическую, диффузионную, электрорелаксационную, микрореологическую и др. [2, 3].

В частности, согласно адсорбционной теории связь между адгезивом и субстратом определяется адсорбцией адгезива на поверхности субстрата. Электрическая теория связывает образование соединения с представлениями донорно-акцепторного механизма и учитывает наличие двойного электрического слоя. Теории, которые определяют величину адгезии в зависимости от природы и числа связей, приходящихся на единицу площади, находят отражение в диффузионных теориях. К теориям, объясняющим причину адгезионной прочности, относится релаксационная, которая рассматривает процессы деформации, возникновения внутренних напряжений и релаксацию при отрыве покрытий.

Существующие теории отражают какую-то одну сторону процесса адгезии. Вместе с тем, целесообразно было бы иметь единый подход к выяснению причин адгезии, а существующие теории представлять, как частные выражения этого единого подхода. Основопологающим в этом смысле может быть уравнение, приведенное А.Д. Зимомом [2, 3].

$$W = \overline{W} \cdot N$$

где $\overline{W}$ – средняя энергия связи; N – число таких связей на единицу площади.

Решать частные задачи увеличения адгезионной прочности возможно, используя термодинамический анализ. В настоящее время он развивается в трех направлениях. Первое базируется на подходах классической термодинамики Гиббса и связано с расчетами конечных равновесных продуктов реакции между компонентами. Развитие данных работ дало возможность выполнять их для более сложных систем, например, «химическое соединение – многокомпонентный твердый раствор». Второе направление основано на подходах термодинамики малых дисперсных систем Хилла и связано с расчетами метастабильных состояний. В этих расчетах учитывается существенный вклад поверхностной энергии фаз с дисперсным строением. Третье направление, развиваемое В.В. Федоровым и М.Х. Шоршоровым, связано с анализом термодинамических условий диспергирования веществ, при агрегатных фазовых превращениях и химического разложения.

Возникновение прочных адгезионных связей между компонентами обусловлено оптимальной длительностью контактирования фаз [2, 3].

При этом следует рассматривать два случая контактирования: 1) в контакте находятся твердая и жидкая фаза; 2) в контакте находятся две твердые фазы. В первом случае, оптимальное время контактирования (t_k) должно быть

$$t_{ад} \prec t_k \leq t_p + t_d + t_z$$

где $t_{ад}$ – длительность, необходимая для возникновения прочных адгезионных связей по всей поверхности контакта; t_p – длительность ретордации (инкубационный период гетеродиффузии); t_d – длительность диффузии на глубину; t_z – длительность образования промежуточной зародышевой фазы.

Для определения времени запаздывания диффузии используется формула [3]:

$$t_p = t_0 \exp \left[\frac{e \cdot (E_T - E_{ж})}{\lambda \cdot k \cdot T} \right],$$

где t_0 – постоянная времени, обратно пропорциональная частоте собственных колебаний атомов; E_T , $E_{ж}$ – энергия активации диффузии соответственно твердой и жидкой фазы.

Во втором случае, когда в контакте находятся два твердых тела, определение t_k сводится к анализу длительности процесса образования прочного соединения по всей поверхности контакта

$$t_{ad} \leq t_k \leq t_{ad} + t_d + t_3.$$

Образование прочных адгезионных связей – трехстадийный процесс [2,3]:

$$t_{ad} = t_{\phi} + t_a + t_{OB},$$

где t_{ϕ} – сближение атомов за счет пластической деформации и образование физического контакта (силы Ван Дер Ваальса) происходит по мере деформации микровыступов на поверхности основы; t_{OB} – длительность объемного взаимодействия, при которой происходит гетеродиффузия, рекристаллизация и т.д.; t_a – длительность активации контактных поверхностей, на которых происходит образование химических связей (оценивается на основе соотношений абсолютных скоростей химических реакций первого порядка).

$$\frac{dN(f)}{dt} = [N_{\phi}(t) - N(t)] \exp - \frac{E_a}{kT} \exp \frac{S}{k},$$

где N – число атомов контактных поверхностей, вступающих в химическую связь; N_{ϕ} – число атомов, вступающих в физический контакт; E_a – энергия активации процесса; S – энтропия активации.

Общее уравнение для анализа роста прочности $\varepsilon(t)$, частный случай которого для фиксированного числа зародышей z_0 имеет вид:

$$\frac{G(f)}{G_m} = \frac{N(f)}{N_0} = 1 - \exp(K \cdot t^n),$$

где K – константа скорости реакций;

$$K = Z_0 K_{\phi} K_z K_p,$$

где K_{ϕ} , K_z , K_p – соответственно константы скорости образования физического контакта, зарождения центров с прочной связью и их роста; t – время процесса; n – показатель степени, характеризующий порядок химической реакции; G_m – максимально возможная скорость реакции.

Анализ адгезионных связей с позиции термодинамики показывает, что адгезию нельзя отождествлять с адгезионной прочностью. Для нарушения адгезии необходимо приложить внешнюю силу ($F_{отр}$) определенной величины. Под действием силы граница раздела фаз переместится на некоторое расстояние « ℓ ». Произведение силы отрыва на расстояние « ℓ » составляет работу отрыва. При этом работа и сила отрыва не будут равны работе и силе адгезии. Указанное несоответствие обусловлено спецификой контактных явлений на границе «адгезия-субстрат», а также их собственными физико-механическими свойствами.

Обозначив, соответственно, W_{ad} и F_{ad} – работа и сила адгезии, можно записать условие

$$W_{omp} = W_{ad} + W_d + W_{\varepsilon} + W_n - W_{BH},$$

где $W_{ад}$ – работа на преодоление сил адгезии; W_{δ} – работа, идущая на деформацию (изгиб) покрытия; $W_{э}$ – работа на преодоление электрического взаимодействия; W_n – работа на деформацию микронеровностей и др. потери; $W_{ВН}$ – работа, облегчающая отрыв покрытия за счет внутренних напряжений; и по аналогии

$$F_{отр} = F_{ад} + F_{\delta} + F_n - F_{ВН},$$

где $F_{ад}$ – сила, необходимая для определения адгезии; F_{δ} – сила, требуемая для изгиба покрытия; $F_{э}$ – сила на преодоление электрического взаимодействия; F_n – сила на деформацию микронеровностей; $F_{ВН}$ – сила, уменьшенная на величину внутренних напряжений покрытия.

Из приведенных соотношений видно, что работа и сила отрыва, как правило, больше работы и силы адгезии и используется для оценки работоспособности материалов с покрытиями.

В большинстве случаев, разработка и применение как теоретических, так и экспериментальных методов оценки указанных параметров вызывает определенные трудности. Для получения точных результатов испытаний и сопоставимых характеристик прочности необходимо учитывать специфику каждого из конкретных методов испытания. В частности, должны быть идентичны скорость отрыва, направление отрыва, время приложения усилия и его цикличность и т.д. Кроме того, требуется выдерживать заданную геометрию и масштаб образцов.

Приведенный в последующем разделе теоретический анализ кинетики формирования контакта между покрытием и основой позволит проводить выбор методов испытания более корректно, что безусловно значительно повысит достоверность результатов испытаний и эффективность исследований.

Литература

1. Прочность материалов и конструкций / редкол.: В.Т. Троценко (отв. ред.) и др. – К. : Академперіодика, 2006. – 1076 с.
2. Аппен А.А. О теоретических критериях адгезии покрытий в металлах / А.А. Аппен // Неорганические и органические покрытия. – Л. : 1975. – С. 3–11.
3. Уманский, Э.С. О применении различных теорий адгезии к жаростойким покрытиям / Э.С. Уманский, Б.А. Ляшенко, В.В. Ришин и др. // Защитные покрытия на металлах : ресур. межвед. сб. – К. : Наук. думка, 1978. – Вып. 12. – С. 16–24.

Чижев С.А., Кузнецова Т.А. Институт тепло- и
массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси,
Хейфец М.Л., Институт прикладной физики НАН Беларуси,
Бородавко В.И., Грецкий Н.Л. ОАО «НПО Центр», Минск, Беларусь
Батаев А.А. Новосибирский государственный
технический университет, Новосибирск,
Панин А.В., Колмаков А.Г. Институт физики прочности
и материаловедения Сибирского отделения РАН, Томск,
Кречетов А.А., Блюментейн В.Ю. Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф.Горбачева, Кемерово, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Проблемы в разработке ресурсосберегающих технологий производства изделий всегда комплексные. Невозможно рационально обеспечить качество материалов и поверхностей для надежной эксплуатации изделий, только на отдельных операциях технологического процесса производства или стадиях при их использовании, а надо рассматривать производственно-технологические и обслуживающе-эксплуатационные этапы жизненного цикл изделий в целом. Сбережение на одной операции или стадии, может привести к потере материальных ресурсов и дополнительным затратам труда на других. В этой связи необходимо анализировать передачу эксплуатационных свойств от операции к операции, то есть исследовать технологическую наследственность и управлять передачей свойств для обеспечения качества в жизненном цикле изделий. При этом следует рассматривать всю совокупность технологических воздействий на операциях обработки и эксплуатационных факторов на стадиях эксплуатации, а также учитывать их взаимовлияние, приводящие к самоорганизации процессов формирования свойств изделий.

В современных условиях требуется с единых позиций самоорганизации физических явлений и наследования параметров качества функциональных элементов, рассматривать проектные и производственные этапы, эксплуатацию и обслуживание в жизненном цикле изделий.

На основе синергетической концепции предложено при проектировании методов обработки изделий из различных конструкционных материалов учитывать доминирование свойств отношений технологических решений, описывающих обеспечение контролируемых параметров технической системы. С этих позиций, рассмотрено проектирование механических и термических операций технологических процессов, использующих различные воздействия, в том числе и концентрированными потоками энергии для поверхностной упрочняющей и размерной обработки конструкционных материалов.

Применена синергетическая концепция, позволившая сформировать комплексную математическую модель технологического наследования эксплуатационных показателей качества, описывающую различные режимы операций обработки, стадий эксплуатации и их устойчивость при производстве и применении изделий. Использование математической модели при компьютерном проектировании предоставило возможности по оптимизации режимов для сокращения затрат при изготовлении и восстановлении ответственных деталей машин.

Рассмотрены различные модели утраты работоспособности узлов трения машин и истощения ресурсных показателей материалов и поверхностей сопряженных деталей, на базе комплексной математической модели наследования показателей качества в жизненном цикле изделия, описывающей различные режимы поведения при производстве и применении конструктивно-сложных технических систем. Это позволило сформировать методики и разработать средства контроля качества определяющих параметров в жизненном цикле изделий.

Технологическое наследование взаимосвязанных параметров качества изделия представлено совокупностью физических явлений переноса. Рассмотрение технологической цепочки «режим обработки – состояние поверхностного слоя – эксплуатационные свойства», определило описание сложных взаимосвязей процессов формирования поверхностных слоев деталей в виде функционалов. Разработанные модели технологического наследования на основе системы функционалов, дают возможности предлагать способы и режимы управления формированием параметров качества в жизненном цикле изделий.

Проведено мультимасштабное изучение технологической цепочки процессов многоуровневого обеспечения параметров качества в жизненном цикле изделий: от наноструктур тонких пленок и слоев методами атомно-силовой микроскопии, через микро- и мезо-, физико-механические и геометрические параметры качества материалов и поверхностей деталей, к макрохарактеристикам и свойствам изделий специального назначения. Полученное описание позволило не только проследить закономерности технологического наследования, но и применить их, как для операционного контроля с использованием физических методов, так и для проектирования технологий, обеспечивающих высокую долговечность деталей и безотказность машин. Теоретические результаты нашли широкое применение при проектировании, производстве и применении техники различного назначения. В результате для машиностроительных предприятий разработаны ресурсосберегающие технологии, использующие концентрированные потоки энергии для изготовления и восстановления деталей машин, а также оборудование, средства оснащения и контроля эксплуатационных параметров качества в технологических процессах.

ЗМІСТ

<i>Агеев М.С. Рудковский А.В., Соловых Е.К., Катеринич С.Е., Белоцерковский М.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ АЗОТИРОВАНИЕМ	3
<i>Агеев М.С., Шарко А.В., Соловых Е.К.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ НАНЕСЕНИЯ УПРОЧНЯЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	7
<i>Артемьев В.М., Наумов А.О.</i> ОТКАЗОУСТОЙЧИВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	10
<i>Базров Б.М., Гуревич В.Л., Хейфец М.Л., Попок Н.Н.</i> ОЦЕНКА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ИЗДЕЛИЯ	12
<i>Багдюн А.А., Соломахо В.Л.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ	15
<i>Бондаренко Ю.К., Ковальчук О.В., Логінова Ю.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ РИЗИКІВ НА ТЕХНІЧНУ БЕЗПЕКУ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001:2015	17
<i>Бурыкин В.В.</i> ВИБРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗЫ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	22
<i>Веремейчик А.И., Онысько С.Р., Аббасов К.Т., Хеук М.В.</i> К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ТЕЛ С ПЕРЕМЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА	26
<i>Волошина Л.В., Цап О.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ	28

<i>Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТНОСТІ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ РИНКОВОЇ ЕКОНОМІКИ	30
<i>Довгаль А.Г., Тамаргазін О.А., Варюхно В.В., Курбет Л.В.</i> МЕТАЛОКЕРАМІЧНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ ТА ОКСИДУ АЛЮМІНІЮ	35
<i>Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Латипова М.И.</i> ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ И МЫ	39
<i>Ермишкин В.А., Минина Н.А., Кириллова В.М., Сдобырев В.В., Палий Н.А.</i> ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОЛИБДЕНОВЫХ СПЛАВОВ С ВАНАДИЕМ	43
<i>Зинькевич Н.В., Ланцман Г.А., Крень А.П.</i> ЭКСПРЕСС ОЦЕНКА ТВЕРДОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИБОРОМ ТПЦ-ФЛЕКС	47
<i>Льницька Г.Д., Лавріненко В.І., Логінова О.Б., Смоквина В.В., Зайцева І.М.</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИСОКОМІЦНИХ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ ІЗ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ ДЛЯ ОСНАЩЕННЯ ПРАВЛЯЧОГО АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ	49
<i>Искендерзаде Э.Б., Лысенко В.Г., Ахмедли Ш.В., Исламова У.Р., Алиева Л.С.</i> РАЗРАБОТКА НОВОГО МЕТОДА СЛИЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДВУМЕРНОГО ЭТАЛОНА ДЛЯ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН	51
<i>Клименко С.А., Манохін А.С., Клименко С.Ан.</i> НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН В ПОКРИТТІ MoN/CrN НА ІНСТРУМЕНТІ З RcVN	56
<i>Ковальов М.Ф., Головащук М.В. Ніколайчук В.Я. Кулижський В.М., Лопата В.М.</i> ЗНАЧЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВІДНОВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬВ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЇХ ЯКОСТІ І РЕСУРСУ ВІДРЕМОНТОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ	60
<i>Кокотина В.В., Степаненко С.М., Харченко В.Г.</i> ПРОЯВЛЕНИЯ «ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА» В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	64

<i>Колесник М.А., Крикун К.П.</i> СУТНІСТЬ ПРИНЦИПУ УЗГОДЖЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДЕТАЛЕЙ ЦПГ	66
<i>Комарова Г.Л, Грибанов М.В.</i> ПОЛІПШЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ	68
<i>Косач Н.І., Павлова Г.О.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ ISO 9100 НА АВІАКОСМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ УКРАЇНИ	70
<i>Кочурко-Станиславчик Ю.В., Смоленцева Л.В., Голод О.И., Санюк И.В.</i> СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ВОПРОСАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ	72
<i>Кривов Г.А., Шулепов В.Н., Кайнов М.Н., Кравченко И.Ф., Степаненко С.М., Атанасова А.А.</i> КОРПОРАТИВНАЯ СИСТЕМА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ	75
<i>Кривошеко В.Е.</i> «ТРИ УЛОВКИ» ТЕХНОЛОГИИ КАЧЕСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОЛЬШИХ МАШИН/СИСТЕМ	77
<i>Курзина Е.Г., Курзина А.М., Кудрявцева В.Д., Колмаков А.Г., Просвирнин Д.В., Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Хейфец М.Л.</i> ПОЛИМЕРНЫЕ ДЕМПФИРУЮЩИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ВИДЕ ДВУХСЛОЙНЫХ СЭНДВИЧ-АМОРТИЗАТОРОВ	79
<i>Кучук-Яценко С.І., Зяхор І.В., Завертанний М.С., Наконечний А.О.</i> КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОМІЖНИХ ПРОШАРКІВ У ВИГЛЯДІ МЕТАЛЕВИХ НАНОШАРУВАТИХ ФОЛЬГ	82
<i>Лавріненко В.І., Ільницька Г.Д., Лубнін А.Г., Зайцева І.М.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ МІЦНОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ СТОСОВНО ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	84

<i>Лаврінєнко В.І., Пасічний О.О., Полторацький В.Г., Лещєнко О.В.</i> МОДИФІКОВАНІ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ В ШЛІФУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ	87
<i>Лаврінєнко В.І., Петасюк Г.А., Лубнін А.Г.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЗЕРНИСТОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ СТОСОВНО ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	88
<i>Логінова О.Б., Кістерська Л.Д., Маринін А.І.</i> ПРОБЛЕМИ ОТРИМАННЯ ДОСТОВІРНИХ ДАНИХ ПРО РОЗПОДІЛ НАНОЧАСТИНОК ПО РОЗМІРАХ У СУСПЕНЗІЯХ МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА	92
<i>Майстрєнко А.Л., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Виноградова О.П., Васильчук О.С., Базалій Г.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗДІЛЕННЯ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ ПРОДУКТІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З АЛМАЗОВМІСНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА МЕТАЛЕВИХ З'В'ЯЗКАХ	94
<i>Мироненко С.В., Волобуєва Т.В. Венгер А.С.</i> ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НАСЕЛЕННЯМ УКРАЇНИ	96
<i>Опарина І.Б., Колмаков А.Г., Шкурко В.В., Хейфец І.М.</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЯ І УПРАВЛЕННЯ ПРОЦЕСОМ ІНДУКЦІОННОЇ ПАЙКИ	100
<i>Островерх Є.В., Ромашов Д.В., Федорович В.О.</i> МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ НАДШВИДКІСНОГО АЛМАЗНОГО ЗАТОЧУВАННЯ НТМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДИКИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ	102
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Мельник Т.В.</i> ТИТАН ТА ЙОГО СПЛАВИ У ВИРОБАХ МАШИНОБУДУВАННЯ	105
<i>Рябченко С.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ ИЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДА	109

<i>Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Веремейчик А.И., Кондратюк В.О., Старикевич М.О.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА ДРОБИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ОБЪЕМНОЙ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ	111
<i>Сахнюк І.О., Битков М.Х., Рудак Н.П., Поліщук Р.Ю.</i>	
ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСНОГО ПІДХОДУ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В НАУКОВИХ УСТАНОВАХ	113
<i>Соломахо В.Л., Лукаш В.С.</i>	
МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ-СИГНАЛИЗАТОРА ПОИСКОВОГО НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ	116
<i>Соломахо В.Л., Цитович Б.В.</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ	118
<i>Соломахо В.Л., Цитович Б.В.</i>	
РОЛЬ КОНТРОЛЯ, ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА	121
<i>Сороченко В.Г., Сохань С.В.</i>	
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ШЛИФОВАНИЯ НА СКОРОСТЬ СЪЕМА ПРИПУСКА И УМЕНЬШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ	123
<i>Сороченко В.Г., Сохань С.В.</i>	
ИЗНОС АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ШАРОВ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ	127
<i>Степаненко С.М., Серета Т.Н., Назаренко Ю.А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ	132
<i>Тимофеева Л.А., Федченко И.И., Гордиенко П.М.</i>	
КОМПЛЕКСНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ПАРЫ ТРЕНИЯ «КОЛЕСО-РЕЛЬС»	135
<i>Тіхенко В.М., Ечина М.І.</i>	
ПРОБЛЕМИ АТЕСТАЦІЇ ПИЛОВИДАЛЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕРНОСУШАРОК	137

<i>Ульянчик Н.В., Фірстов С.О., Коломієць В.В., Коряк О.С., Логінова О.Б.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПИТОМУ ПОВЕРХНЮ ТА РОЗПОДІЛ ПОР ПО РОЗМІРАХ У ГРАНУЛАХ КОМПОЗИТІВ З КАЛЬЦІЙ ФОСФАТНОЇ КЕРАМІКИ	140
<i>Харламов Ю.А.</i> РАЗВИТИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	142
<i>Харламов Ю.А., Клименко С.А.</i> ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДЕТАЛЕЙ МАШИН	147
<i>Хімічева Г.І., Волівач А.П.</i> МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ ЗВО	150
<i>Худзицкий П.Г.</i> ПРИМЕНЕНИЕ 3D СКАНЕРА В УСЛОВИЯХ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ГП «ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС»	154
<i>Черновол М.И., Лопата Л.А., Кобзарь В.Л., Лопата А.В., Смирнов И.В., Дудан А.В.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АДГЕЗИИ ПОКРЫТИЙ	158
<i>Чижик С.А., Кузнецова Т.А., Хейфец М.Л., Бородавко В.И., Грецкий Н.Л., Батаев А.А., Панин А.В., Колмаков А.Г., Кречетов А.А., Блюмеништейн В.Ю.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ В РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ	164

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції

07–11 сентября 2020 р., м. Одеса

Комп'ютерна верстка: Копейкіна М.Ю.

Підписано до друку 25.08.2020

Формат 60×84×1/16. папір типографський

Друк офсетний. Ум. вид. арк. 15.

Тираж 150 прим.

Асоціація технологів-машинобудівників України

04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2

Тел. /Факс +38-044-430-85-00, www.atmu.net.ua

E-mail: atmu@ism.kiev.ua, kopeykina@voliacable.com, atmu@meta.ua