

Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины,
Антонюк В.С. НТУ Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Повышение эффективности промышленного производства в значительной степени связано с разработкой и освоением крупногабаритного оборудования, транспортных, энергетических систем, приводы которых содержат редуктора где зубчатые колеса являются одними из важнейших деталей. Общая технология изготовления зубчатых передач охватывает комплекс локальных технологий по обработке отдельных изделий – элементов зубчатых передач, валов, корпусов и др.

Эффективная эксплуатация редукторов изделий машиностроения в значительной степени зависит от контактной прочности зубчатых колес, которая увеличивается с повышением поверхностной твердости зубьев.

В ходовых механизмах транспортных средств наиболее нагруженными деталями являются шестерни. Они работают в условиях ударно-циклического контактного нагружения со скольжением.

Несущая способность зубчатой передачи определяется такими характеристиками зуба, как контактная прочность, изгибная усталостная прочность и износостойкость (чаще абразивная износостойкость).

Поэтому наиболее частыми причинами отказа является разупрочнение зуба у его основания, усталостное выкрашивание (питтинг) контактной поверхности и износ профиля зуба. По результатам дефектовки зубчатых колес коробок передач тракторов сделан вывод о том, что чаще шестерни выбраковываются по питтингу. За последнее время зафиксировано увеличение количества аварий зубчатых зацеплений редукторов газотурбинных установок [1].

Главной причиной разупрочнения зубьев считают неправильное их прилегание, связанное с дефектами сборки или эксплуатации. Отклонение профиля зуба из-за износа снижают в 2 раза долговечность шестерни.

Для обеспечения максимальной несущей способности зубчатого колеса необходимо оптимизировать компоновку поверхностного слоя по принципу минимизации напряженно-деформированного состояния. Несущая способность зубчатых передач по контактной прочности увеличивается с повышением поверхностной твердости зубьев. Повышение твердости поверхности зубьев с 32 до 60 HRC позволяет вдвое уменьшить габариты редуктора и в 3 раза уменьшить его массу [2].

Ключевыми вопросами при проектировании зубчатых передач является выбор материала и способа его упрочнения. Большинство новых сталей для тяжело-нагруженных зубчатых передач являются комплексно-легированными композициями, повышение стойкости которых достигается поверхностным упрочнением.

Наряду с разработкой новых конструкционных сталей наиболее интенсивно развивается поверхностное упрочнение и нанесение покрытий [3].

Из всех деталей при поверхностном упрочнении шестерен возникает наибольшее количество проблем, особенно по идентичности и равномерности упрочненного слоя каждого зуба и его участка, деформационным поводкам при изготовлении и в эксплуатации, трудоемкости финишных и доводочных операций, соотношении изгибной и контактной прочности.

Использование различных видов химико-термической (ХТО) обработки необходимо при производстве промышленных механизмов.

Одна из прогрессивных технологий поверхностного упрочнения – химико-термическая обработка в тлеющем разряде. Наиболее распространены азотирование и цементация в плазме тлеющего разряда, что позволяет перейти от традиционных цементации и нитроцементации к ионному азотированию шестерен [4].

Этот процесс в 1,5–2,0 раза сокращает трудоемкость изготовления, так как детали обрабатываются при невысокой твердости материала и поступают на упрочнение в окончательно обработанном виде. Процесс ионного азотирования более стабильный и управляемый, является простым и надежным способом предохранения поверхностей.

Деформация и усадки фактически отсутствуют, что позволяет заменять окончательное зубошлифование на хонингование, тем самым сохраняя требуемую точность, оставляя равномерный высокопрочный поверхностный слой. Для современного ионного азотирования характерен значительный прогресс в области оборудования. В

сравнении с другими видами азотирования ионное обеспечивает большую глубину упрочненного слоя. Ионные цементация и нитроцементация обеспечивают более равномерную толщину диффузионного слоя и более высокие толщины.

При температуре 860 °С через 2 часа глубина ионной цементации достигает 0,8 мм, в то время как при обычном методе – 0,25 мм.

По сравнению с другими видами химико-термической обработки ионная имеет следующие преимущества:

- производительность процесса повышается в 3–5 раз;
- исключаются поводки изделий;
- высокая экономичность процесса (снижается расход электроэнергии в 2 раза, расход газа в 5–10 раз);
- чистота поверхности не ухудшается, в некоторых случаях повышается, поверхностный слой не имеет микротрещин, снижается градиент концентрации азота по глубине.

Кроме того, ионная (ионно-плазменная) химико-термическая обработка имеет большие технологические возможности (процесс является многофакторным).

Так скоростью диффузионного насыщения можно гибко управлять, изменяя продолжительность процесса, состав газовой среды, температуру, давление газа, напряжения и плотность тока на деталях, находящихся в вакуумной камере.

Практика ионного азотирования использует водородсодержащие газовые смеси на основе аммиака в основе которого содержится водород. Наводораживание детали резко снижает эксплуатационные свойства детали. Переход ионного азотирования на безводородную смесь N_2+Ar устранил этот недостаток.

Выводы. Разработанная в Институте проблем прочности им. Г.С.Писаренко Национальной академии наук Украины технология ионно-плазменного термоциклического азотирования в безводородных смесях обеспечивает (в сравнении с ионным азотированием в среде аммиака): повышение предела выносливости в 1,5 раз; повышение контактной усталостной прочности в 1,5–2,0 раза; удельная работа разрушения при растяжении повышается в 1,2–2,5 раза; расход газа уменьшается в 10–20 раз.

Литература

1. Арсеньев, Л.В. Стационарные газотурбинные установки / Л.В. Арсеньев., В.Г. Тырышкин, И.А. Богов и др.; под. ред. Л.В. Ар-

сеньева, В.Г. Тырышкина. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. – 543 с.

2. Ковальов, В.Д., Технологічні напрямки щодо забезпечення якісного виготовлення крупногабаритних редукторів / В.Д. Ковальов, Я.В. Васильченко, В.С. Антонюк та ін. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Технології в машинобудуванні». – 2017. – №26 (1248). – С. 19–30.

3. Ляшенко, Б.А. Застосування йонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення зносостійкості високолегованої сталі / Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковський, А. Ю. Кумуржі, та ін. // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2015. – Вип №3(74). – С. 28–33.

4. Ляшенко, Б.А. Рекомендации по реконструкции технологического парка Украины для нанесения упрочняющих защитных покрытий. / Б.А. Ляшенко, В.А. Илюшин, С.А. Клименко, Е.К. Соловых // Инструментальный світ. – 2007. – № 3. – С.12–15.

Максимова С. В., Воронов В.В., Ковальчук П.В.
Институт электросварки им. Е.О. Патона
НАН Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ γ' -ОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЛИКВИДУСА НИКЕЛЕВЫХ ПРИПОЕВ

Изготовление и ремонт деталей газотурбинных двигателей остается одной из важнейших задач современного машиностроения. Для этих целей широко используется высокотемпературная вакуумная пайка жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС). Жаропрочные никелевые сплавы являются основными жаропрочными материалами, применяемыми в конструкциях газотурбинных двигателей и энергетических установок. Основной упрочняющий эффект в ЖНС достигается за счет наличия дисперсных ($\sim 0,5$ мкм) частиц γ' -фазы кубовидной формы, которая образуется при распаде перенасыщенного матричного γ -твердого раствора в процессе охлаждения с температуры, которая ниже температуры полного растворения γ' -фазы [1–3]. При этом объемная доля частиц γ' -фазы в структуре сплавов может достигать 60–70 % [1, 3].

Целью представленной работы является исследование влияния легирования алюминием на температурные интервалы плавления никелевых припоев.

В качестве базовой выбрана система Ni-Cr-Co-(Me), которую легировали алюминием, титаном, ниобием, вольфрамом и молибденом. При этом границы содержания алюминия и титана выбраны с целью обеспечения жаропрочности сплава за счет образования необходимой объемной доли упрочняющей γ' -фазы $\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$. Припой выплавляли дуговым методом на холодной подложке в атмосфере аргона. Интервалы плавления определяли на установке для высокотемпературного дифференциального термического анализа в среде гелия.

Результаты высокотемпературного дифференциального термического анализа показали, что влияние степени легирования экспериментальных припоев алюминием на их температуру плавления неоднозначно (рис. 1).

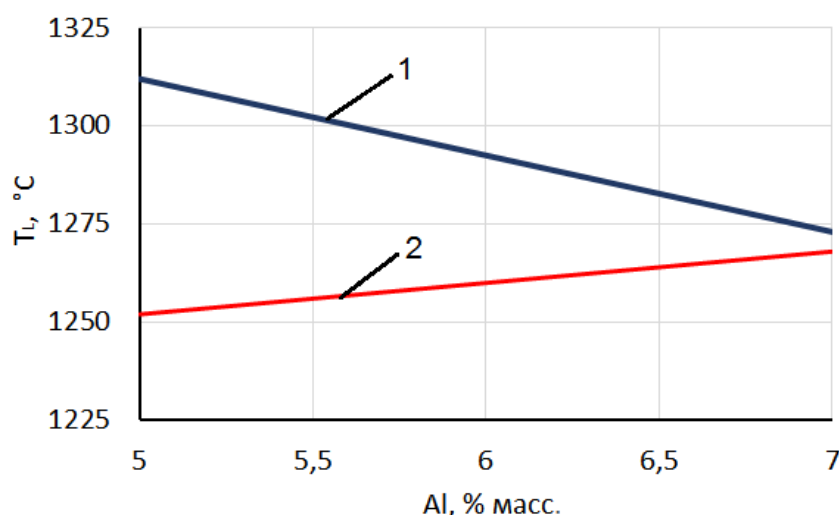


Рис. 1 – Зависимость температуры ликвидуса экспериментальных сплавов от содержания алюминия при суммарной концентрации Ti + Nb < 10 масс.% (1) и Ti + Nb ≥ 15 масс. % (2)

При суммарном содержании Ti + Nb до 10 масс.% повышение концентрации алюминия в сплаве приводит к снижению T_L на 25 °C на каждый введенный 1 масс.% Al. Однако, при увеличении суммарной концентрации Ti + Nb свыше 15 масс. % повышение содержания Al приводит к росту температуры плавления. Это может быть связано с тем, что повышенное содержание титана в сплаве делает его менее стабильным из-за возможного образования разнообразных ТПУ-, η - и σ - фаз. Пластинчатая η -фаза на основе Ni_3Ti начинает выделяться, когда соотношение $\text{Ti}/\text{Al} > 1,45$ (в атом. %), и даже

если данное соотношение близко к 1 возможно локальное выделение пластинчатых η - и δ -фаз на основе $\text{Ni}_3(\text{Nb}, \text{Ti})$.

Следует отметить, что при пайке экспериментальными припоями, содержащими 7 масс. % Al в области галтелей присутствует гетерофазная структура - на сером фоне твёрдого раствора наблюдается большое количество округлых выделений фазы с высоким содержанием алюминия, что характерно для алюминида никеля, который обладает повышенной хрупкостью. При содержании 5 масс.% алюминия в припое выделений данной фазы не обнаруживается.

На основе проведенных исследований установлено, что влияние концентрации γ -образующих элементов на температуру плавления носит комплексный характер и при определенных условиях дополнительное легирование может приводить не к снижению, а к повышению температуры ликвидуса никелевых припоев.

Литература

1. Каблов, Е.Н. Жаропрочные конструкционные материалы / Е.Н. Каблов // Тр. ВИАМ. – 2005. – 204274. – URL: <https://www.viam.ru/public/files/2005/2005-204274.pdf>.
2. Бежавин, А.Ф. Прочность и микроструктура паяных соединений сплава ЖС6У, полученных с использованием бор – и бор-кремний содержащих припоев / А.Ф. Бежавин, В.В. Куренкова, И.С. Малащенко и др. – Современная электрометаллургия. – 2010. – № 2. – С. 40–52.
4. Жуков, Н.Д. Влияние факторов кристаллизации на выносливость литейных никелевых сплавов // Н.Д. Жуков, Н.Ф., Лашко М.С. Бежав. – URL: <https://www.viam.ru/public/files/1973/1973-196390.pdf>.

Маленко П.И., Релмасира К.Д., Леонов А.Ю.
Тульский государственный университет,
Тула, Россия

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ СУБШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ

При создании модели субшероховатой поверхности речь следует вести о физической площади контакта, учитывающей адгезионные и молекулярные силы. В работе [1] рассмотрена дискретная модель субшероховатой поверхности. В работе [2] предлагаются следующие

размерные границы высот микронеровностей: микроконтакты ($H = 10\text{--}1000$ нм), прецизионный контакт ($H = 0,1\text{--}10$ нм), молекулярный контакт ($H < 0,1$ нм).

Целесообразно рассмотреть субшероховатость на уровне микроконтакта ($H > 10$ нм). Для её описания используется фрактально-параметрический подход. Под фракталом понимается структура, состоящая из частей, подобных целому. Этому определению удовлетворяют шероховатые поверхности, если последовательно увеличивать точность измерения (увеличивать масштаб) P_i . При $P_i = 1$ будет иметь место исходный профиль. При $P_i = 2$ имеет место увеличенный фрагмент профиля, то есть микроконтакт. Параметрический подход подразумевает использование параметров описания шероховатой поверхности, в частности, среднего арифметического отклонения профиля Ra и длины b_i отрезков, отсекаемых на уровне P сечения профиля. Для нахождения указанных параметров использовали атомно-силовой микроскоп (АСМ) с разрешающей способностью 10 нм.

Методика определения параметров субшероховатости включает несколько этапов. На рис. 1, *а* приведена фотография поля поверхности размером 10x10 мкм. Результаты сканирования поверхности выбранного поля с помощью АСМ представлены на рис. 1, *б*.

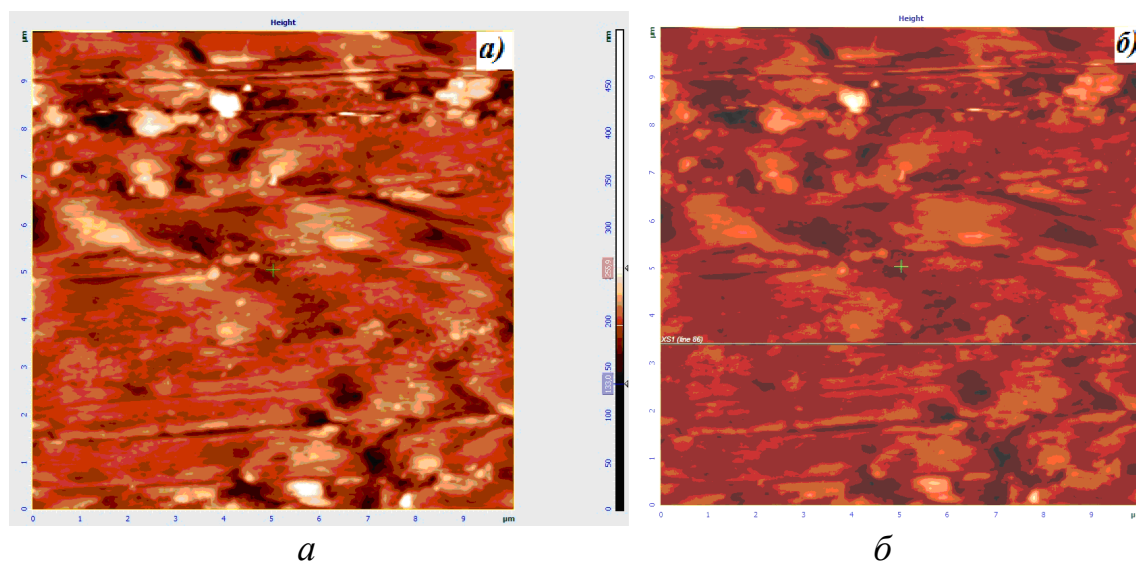


Рис. 1 – Субшероховатая поверхность в пределах поля 10x10 мкм:
а – цифровая фотография поля; *б* – изображение АСМ скана поля

Сечение поверхности скана осуществлялось по оси z , в результате чего был получен профиль сечения субшероховатой поверхности (рис. 2). Среднеарифметическое отклонение профиля Ra определяли по формуле

$$\overline{Ra} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1)$$

где $n = 65536$.

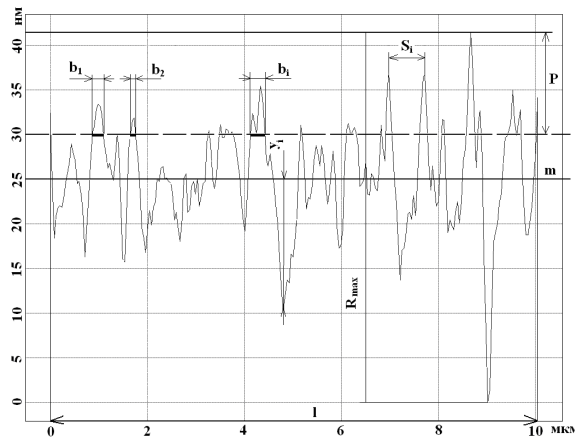


Рис. 2 – Профиль сечения субшероховатой поверхности

Среднее значение длин отрезков, отсекаемых на уровне P , вычисляли по формуле

$$\bar{b} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} b_i, \quad (2)$$

где n_1 – число отсекаемых отрезков.

Для нахождения среднего шага местных выступов профиля использовали зависимость

$$\bar{S} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} S_i. \quad (3)$$

Получены следующие результаты расчётов по формулам (1–3): среднеарифметическое отклонение профиля $\overline{Ra} = 36,82$ нм; среднее значение длин отрезков $\bar{b} = 98,46$ нм; средний шаг местных микро-неровностей $\bar{S} = 358,12$ нм.

Определённые таким образом параметры шероховатости учитывают упругую осадку микронеровности с расположенными на ней субшероховатостями. При этом длина контакта на шероховатостях образует площадь фактического контакта.

Литература

1. Маленко, П.И. Исследование температур на дискретных субшероховатых поверхностях при трении скольжения со смазочным

материалом / П.И. Маленко // Вестник машиностроения. – 2011. – № 7. – С. 38–42.

2. Мышкин, Н.К. Трибология: принципы и приложения / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – Гомель: ИМПС НАНБ, 2002. – 304 с.

*Насакина Е.О., Сударчикова М.А., Севостьянов М.А.,
Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия,
Хейфец М.Л. НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
Копейкина М.Ю., Клименко С.А. Институт
сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТИТАНОВОГО СЛОЯ КАК КОМПОНЕНТА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Широкое признание во многих областях человеческой деятельности, в частности – медицине, за счет их уникальных механических свойств (сверхэластичности, соответствия закону запаздывания, эффекту памяти формы (ЭПФ)) получил NiTi – нитинол, который однако содержит токсичный элемент и может корродировать в физиологических средах.

В связи с этим проводятся интенсивные исследования по поиску путей улучшения его коррозионной стойкости и биосовместимости. Керамические, металлические и полимерные покрытия в основном обладают отличающимися от нитиноловых механическими свойствами, поэтому могут улучшать коррозионную стойкость нитинола в статических условиях, но в динамических вероятнее ускорят разрушение материала за счет дополнительных поверхностных напряжений. Возможно создание тонких металлических поверхностных слоев, которые бы подстраивались под поведение более массивной подложки. Методы физического осаждения из газовой фазы позволяют быстро и эффективно получать тонкие пленки и поверхностные слои разнообразной природы за довольно короткое время практически на любых подложках. Использование для создания поверх-

ностных слоев метода магнетронного распыления позволяет избежать перегрева подложки.

Целью данной работы является создание слоистого композиционного биомедицинского материала на основе сплава с эффектом памяти формы NiTi и поверхностным слоем из высоко коррозионностойкого и биосовместимого титана с высокой степенью адгезионного сцепления между компонентами, избежав выделения тепла, способного самопроизвольно изменить фазовый состав и механические свойства нитинола, при этом варьируя толщину поверхностного слоя.

Слоистый композиционный материал «подложка из нитинола – поверхностный слой из титана», получали на комплексе Torg International с использованием метода магнетронного распыления в газовой среде аргона при остаточном и рабочем давлениях $\sim 4 \times 10^{-4}$ и $\sim 0,4$ Па, соответственно. Для очистки, активации и полировки поверхности подложки проводилась бомбардировка ионами аргона с параметрами разряда $U_e = 900$ В, $I_e = 80$ мА – предварительное ионное травление. Температура на поверхности подложек при любом режиме не превышала 150°C . Магнетрон с мишенью из химически чистого титана работал при дистанции напыления порядка 20 см на постоянном токе 860 мА при напряжении 400 В в течение различного времени распыления (5–120 мин) при вращении подложки со скоростью 9 об/мин.

В качестве подложек использовали пластины и проволоку диаметром 280 мкм из наноструктурного нитинола состава 55,91 мас.% Ni – 44,03 мас.% Ti. Проволоки в исходном состоянии подвергали последовательной шлифовке поверхности наждачной бумагой от 180 до 1000 grit с конечной обработкой пастой Гои. Уменьшение диаметра составляло до 10 мкм по сравнению с исходным. Глубина поверхностных дефектов после обработки составляла менее 1 мкм.

Для определения фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр "Ultima IV" фирмы "Ригаку". Морфологию поверхности и исследования послойного элементного состава исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy, атомно-эмиссионном спектрометре тлеющего разряда GDS 850A с высокочастотным источником переменного тока и Оже-спектрометре JAMP-9500F фирмы JEOL в сочетании с ионным травлением при бомбардировке аргоном под углом 30° . За толщину поверхностного слоя при использовании Оже-электронной спектроско-

пии (ЭОС) принимали отметку глубины, на которой атомное содержание элементов выходило на плато. Фрактографические исследования также проводились на микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU.

Внешне поверхностный слой полностью повторяет морфологию подложки. С увеличением времени напыления до 20 мин толщина и поверхностного (состоящего только из напыляемого вещества), и переходного (содержащего элементы как подложки, так и напыляемого вещества) слоев растет. При дальнейшем увеличении времени растет толщина только поверхностного слоя, причем по нелинейному убывающему закону. В начале образование слоя носит островковый характер, а далее происходит более равномерное распределение осаждающегося титана на поверхности, при этом происходит постоянное перемешивание напыляемых атомов, приобретающих при распылении из мишени дополнительную энергию, с поверхностными атомами (подложки или ранее осажденными) при передаче им части этой энергии, что обуславливает образование переходного слоя. Рентгенограммы образцов показывают, что фазовый состав подложки не меняется в зависимости от продолжительности осаждения слоя. Исследование образцов на разрыв показало, что компоненты композита не отслаиваются друг от друга даже в зоне разрушения. Предварительное ионное травление способствует лучшей адгезии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ по проекту № 19-08-00642 А.

*Нечай А.А, Морицлов М.В., Нигметзянов Р. И.,
Перекрестова В.А. Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет, Москва, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Проблемы, связанные с повышением надежности и долговечности машин, в значительной степени зависят от надежности и совершенства двигателей и их топливной системы. На работу двигателей существенное влияние оказывает топливная система. Некачественная работа форсунок ведет к снижению ресурса двигателя, падению мощности,

ухудшению параметров рабочего процесса, а порой и к выходу из строя других важнейших узлов двигателя. Потеря эффективности работы топливной аппаратуры связана с процессами трения и износа рабочих поверхностей деталей, работающих с конкретным видом топлива, недостаточным обеспечением его чистоты, порой с несвоевременной заменой фильтрующих элементов и другими негативными факторами. Детали топливной аппаратуры испытывают практически все известные виды разрушений: усталостное, абразивное, кавитационное, электрохимическое и др. В связи с этим ощущается востребованность технологий упрочнения изнашиваемых деталей, способных продлить их ресурс, сэкономить финансовые, материальные и временные затраты изготовителя.

Среди методов упрочнения деталей топливной аппаратуры используются следующие: накат (наклеп), наплавка и напыление износостойкими материалами, термическая и химико-термическая обработка. Положительное влияние наката наблюдается только до определенной для данного металла степени упрочнения. В случае превышения определенной степени упрочнения появляются микроскопические трещины и хрупкость вследствие чего и происходит отслоение упрочняемого слоя. Наплавка и напыление износостойкими материалами не обеспечивают стабильность структуры и не применяются прецизионным изделиям. Детали дизельной топливной аппаратуры для обеспечения их высокой износостойкости изготавливают из инструментальных сталей повышенной прокаливаемости и закаляют на максимальную твердость. Однако, такую упрочняющую обработку прецизионных деталей нельзя признать оптимальной, поскольку твердость закаленной стали недостаточна для эффективного противодействия абразивным частицам. Для снижения усталостных отказов целесообразно подвергать упрочнению неглубокий поверхностный слой материала изделий, а сердцевину оставлять вязкой, обеспечивающей высокую несущую способность при знакопеременной или ударной нагрузке. Это условие выполняется при химико-термической обработке. Среди многочисленных методов данного вида обработки, азотирование – один из распространенных способов обработки прецизионных пар до наилучших показателей сопротивления изнашиванию. Кроме того, полученные в результате насыщения азотом поверхностные слои имеют высокую сопротивляемость коррозии [1]. Изделия, прошедшие насыщение азотом, не требуют дополнительной термической закалки. У азотирования существуют и свои недостатки,

состоящие в дороговизне и длительности его проведения. Так, при температурах в 500 °С азот проникает на 0,01 мм (или менее) за каждый час. Исходя из этого факта, общее время всего процесса порой доходит до 60 часов [2].

Значительное сокращение длительности процесса возможно за счет воздействия ультразвука. При сообщении ультразвуковых колебаний в твердых телах ускоряются диффузионные процессы [3]. Результатом влияния ультразвуковых колебаний на процесс газового азотирования является увеличение твердости поверхностного слоя и глубины проникновения азота. Известно, что с увеличением продолжительности процесса глубина азотированного слоя при воздействии ультразвуковых колебаний во всех случаях больше, чем у образцов без применения ультразвука. Интенсификация процесса объясняется увеличением плотности дислокаций, образованием большого количества избыточных вакансий, образовавшихся в результате деформации и увеличением адсорбционной способности поверхности при взаимодействии упруго-пластических деформаций ультразвуковых волн с кристаллической решеткой обрабатываемого металла [4].

Таким образом, в результате комбинированной обработки существенно изменяются параметры поверхностного слоя: среди геометрических параметров можно выделить изменение шероховатости поверхности, среди физических параметров следует отметить изменение плотности, строения и фазового состава поверхностного слоя, изменения механических свойств проявляется в увеличении твердости, прочности и износостойкости деталей. Следовательно, можно судить о перспективности использования ультразвука как инструмента интенсификации процесса азотирования для обработки деталей топливной аппаратуры.

Литература

1. Бритвин, Л.Н. Упрочнение поверхностного слоя деталей машин методами химико-термической обработки и ультразвуковыми технологиями / Л.Н. Бритвин, В.А. Германова, В.И. Карагодин, и др. // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – № 1 (48). – С. 63–67.
2. Нигметзянов, Р.И. Установка химико-термической обработки и ультразвукового воздействия для упрочнения поверхностного слоя стальных изделий / Р.И. Нигметзянов, М.В. Морщилов, В.А. Перекрестова и др. // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 7 (85). – С. 17–22.

3. Гушин, Л.К. Газовое азотирование при воздействии ультразвука. / Л.К. Гушин, Е.В. Домбровская, Г.В. Земсков // Научные записки Одесского политехнического института: сб. науч. тр. – Одесса: ОдПИ, 1961. – т. 35. Технология машиностроения. – С. 24–34.

4. Britvin, L.N. Surface modification by combined thermochemical and ultrasound treatment / L.N. Britvin, V.V. Gaevskii, V.A. Germanova et. al // Russian Engineering Research. – 2017. – 37, № 12. – С. 1087–1089.

*Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Докійчук В.В.,
Китаєв О.М., Малишев І.П., Погорильчук В.А.
Державний університет «Житомирська
політехніка», Житомир, Україна*

АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ВАГОНЕТОК ДЛЯ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

З ростом металоємності промисловості, ефективний захист металовиробів від корозії стає все більш актуальною та важливою задачею. Значні втрати від корозії вимагають розробляти та на практиці застосовувати все більш вдосконалені антикорозійні засоби захисту. Особливе місце серед інших засобів захисту металу від корозії займає метод електродугової металізації. Найбільш часто електродугову металізацію застосовують для нанесення антикорозійних покриттів та при відновленні розмірів спрацьованих деталей. Метод електродугової металізації успішно впроваджується на підприємствах по виробництву будівельних матеріалів. Застосовують металізацію для отримання жаростійких сталевих конструкцій (нанесений розпилений алюміній створює з поверхнею останніх вогнетривкий алюмінієво-залізистий шар).

Дана робота присвячена вирішенню проблеми збільшення надійності і довговічності вагонеток для сушіння та випалювання керамічних виробів (цегла, керамічна плитка). Вагонетки виготовляють з маловуглецевої сталі.

Для захисту сталевих конструкцій вагонетки від корозії розроблено захисні покриття з використанням дрітків алюмінієвих сплавів марок Св-А97, Св-А85, Св-Амц, Св-АМЗ. Розроблений технологічний процес захисту сталевих конструкцій вагонеток складається з наступних основних операцій:

1) підготовка вагонетки (очищення від технологічної маси; знежирювання поверхні; активація і формування шорсткості поверхні шляхом абразивно-струменевої обробки чавунним дробом з розміром зерна 2,5 мм до досягнення шорсткості 63-80 мкм);

2) підготовка дровових матеріалів (очищення дроту від бруду; намотування дроту на котушки металізатора);

3) нанесення покриття (нанесення захисного покриття товщиною 80-220 мкм виконують ручним способом із застосуванням електродугового металізатора мод. ЕМ-14 та установки мод. КДМ-2);

4) вихідний контроль (візуальний огляд нанесеного покриття, контроль товщини покриття магнітними товщиномірами).

Кожну технологічну операцію виконують на окремому робочому місці. Всі робочі місця (пости) розміщені в одну лінію на рейковій колії, по якій переміщують вагонетки і послідовно виконують операції технологічного процесу. Операції очищення та знежирювання конструкції вагонеток, абразивно-струменевої обробки вагонеток та нанесення покриттів виконують в спеціальних камерах, оснащених системами вентиляції та місцевого освітлення.

Розроблена технологія може бути застосована для захисту від корозії іншого технологічного обладнання промислових підприємств.

*Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Базалий Г.А.,
Виноградова Е.П., Майстренко А.Л.,
Закора А.П., Ткач В.Н., Петасюк Г.А. Институт
сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина*

К ВОПРОСУ ОБ ИЗВЛЕЧЕНИИ ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА ИЗ ШЛАМА ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Абразивный инструмент, который содержит высокопрочные порошки синтетических алмазов, применяют при геологоразведке месторождений, добыче твердых полезных ископаемых и т.д. В процессе работы абразивный слой инструмента изнашивается, частицы алмазного порошка из матрицы попадают в шлам горной породы.

Цель настоящей работы – определение возможности извлечения порошков синтетического алмаза из шлама камнеобработки.

Исследован шлам, полученный в результате обработки цилиндрического блока песчаника Торезского месторождения IX категории буримости. Обработку песчаника проводили экспериментальным буровым элементом диаметром 10 мм, оснащенным матрицей из NiSn(6%) с алмазами марки AC160T с ионно-плазменным покрытием титана. Для обработки применяли стенд на базе токарно-винторезного станка модели ДИП-200. Параметры обработки: частота вращения блока -355 мин^{-1} , глубина внедрения 0,5–1,0 мм.

Собранный в результате обработки шлам был подвергнут термохимическому жидкофазному окислению, удалены металлосодержащие фазы, кварц. Извлечены частицы алмаза.

Исследованы: элементный состав осадков термохимического жидкофазного окисления микрорентгеноспектральным анализом с помощью электронного сканирующего микроскопа «Zeiss EVO 50 XVP»; форма и размер частиц алмаза с помощью микроскопа DiaInspect OSM фирмы VOLLSTADT DIAMANT GmbH.

Выводы. По результатам исследования СЭМ изображений осадка после растворения металлосодержащих фаз было установлено наличие октаэдров кристаллов. Микрорентгеноспектральный анализ кристаллов показал, что элементный состав их поверхности представлен только углеродом. Исследование частиц осадка после термохимического жидкофазного окисления показало, что кроме кристаллов алмаза осадок содержит частицы, содержащие до 39 масс.% кремния и кислород 19–47 масс.%. Эти частицы распределяются в интервале размеров 30–80 мкм и имеют в основном форму треугольника, прямоугольника, трапеции.

Из шлама извлечены кристаллы алмаза. Их содержание в шламе составило 20–25 масс.%. Расход химических реактивов для извлечения высокопрочных порошков синтетических алмазов из шлама обработки песчаника Торезского месторождения составил 16,63 % веществ I-го класса опасности и 87,36% веществ II-го класса опасности от расхода, затрачиваемого в процессе извлечения алмазов из продукта синтеза.

Т.о., результаты исследования показали возможность и целесообразность извлечения порошков синтетического алмаза из шлама камнеобработки алмазным инструментом. Их выход может составлять до 25 масс.% шлама. Расход веществ I-го класса опасности на 83,33% и на 12,64% веществ II-го класса опасности ниже расхода этих веществ, применяемых для извлечения из продукта синтеза алмаза.

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ РІДИННО- ФАЗОВОГО ПОКРИВУ ТЕРМОСТІЙКИМИ СПОЛУКАМИ ШЛІФПОРОШКІВ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Покрив є дієвим методом модифікування поверхні зерен порошків синтетичного алмазу (СА), кубічного нітриду бору (сBN) та порошків інших надтвердих матеріалів (НТМ) [1]. Головна мета подібного технологічного впливу спрямована на підвищення ефективності застосування абразивного інструменту, виготовленого на основі порошків НТМ із нанесеним на поверхню їхніх зерен покривом. Як матеріал покриву найчастіше наносяться метали (нікель, кобальт, титан, вольфрам). Процедура нанесення покриву з таких металів за усталеною у сфері абразивних порошків термінологією називають металізацією, а модифіковані таким чином порошки – металізованими.

Найбільш відомими способами металізації порошків НТМ є електрохімічне осадження [1] та напилення в вакуумі [2]. До порівняно нових для порошків НТМ способів здійснення подібної технологічної операції модифікування поверхні зерен належить рідинно-фазовий покрив [3]. Особливу увагу дослідників привертає використання у якості матеріалу покриву термостійких сполук, зокрема таких як оксид бору (B_2O_3), хлорид кальцію ($CaCl_2$), хлорид магнію ($MgCl_2$), хлорид калію (KCl), хлорид заліза (III) ($FeCl_3$), оксид хрому (VI) (CrO_3). Відомо, що кисень в процесах різання є важливим чинником зміни триботехнічних характеристик контактних поверхонь [4]. Оксидні шари, що виникають під дією кисню або його сполук на контактних поверхнях, у значній мірі знижують тертя в процесі обробки. Досягненню такого позитивного ефекту сприяє введення в зв'язку робочого шару круга матеріалів, які містять в своєму складі кисень. До таких матеріалів належать згадувані вище термостійкі сполуки, попередньо нанесені на поверхню зерен абразивних порошків НТМ.

При виготовленні інструменту та в процесі обробки ним матеріалів відбувається нагрівання зерен НТМ, що призводить до зниження їх міцності. Термостійкі сполуки-модифікатори утворюють захисну плівку, яка захищає поверхню зерен НТМ від дії високих температур, зменшуючи таким чином ймовірність їх руйнування.

Важливим показником якості металізованих шліфпорошків НТМ є товщина покритву зерен. Одночасно із рівномірністю покритву вона є визначальним фактором впливу на мікротвердість і тріщиностійкість металізованих порошків, на міцність утримання зерен такого порошку в різальному шарі абразиву, а відтак і на питому витрату абразивного порошку. Всі відомі методи визначення товщина покритву зерен одночасно з іншими початковими даними оперують також і ступенем покритву (μ), або ж металізації, коли матеріалом покритву слугує метал. За означенням

$$\mu = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{а}}}, \quad (1)$$

де $m_{\text{а}}$, $m_{\text{п}}$ – відповідно маса початкового шліфпорошку та маса металу чи іншої речовини, нанесених на поверхню його зерен. Однак використання формули (1) у випадку рідинно-фазового способу при високій концентрації розчину термостійкої сполуки дає завищені значення показника ступеню покритву. Це обумовлено тим, що у процесі нанесення рідинно-фазовим способом покритву відбувається часткова кристалізація матеріалу покритву, що підтверджується і нашими дослідженнями. Розмір утворюваних при цьому кристалів, як показали наші дослідження, знаходяться у діапазоні 5–20 мкм, що на порядок менше від розміру зерен шліфпорошків, на які наноситься покритв. В той же час, метод зважування ґрунтується на допущенні, що весь матеріал покритву винятково має осісти на поверхню зерен абразивного порошку. Саме за рахунок цього фактору і відбувається приріст маси порошку з нанесеним на поверхню його зерен покритвом. Але оскільки частина матеріалу покритву, тобто термостійкої сполуки, кристалізується, то це в силу зазначених вище причин призводить до появи похибки визначення ступеню покритву, а з ним – і самої товщини покритву.

Головна ідея пропонованого тут методу полягає в тому, що зерна кристалізованого матеріалу покритву мають бути відділені від шліфпорошку з нанесеним на його зерна покритвом. Це можна здійснити або шляхом прямого ситового розділення, або ж опосередкованим методом із використанням алгоритму комп'ютерного сита [5]. Нами використовувався другий варіант, оскільки він більш ефективний.

Наступним кроком, використовуючи відоме пікнометричне співвідношення між масою, об'ємом та густиною твердого тіла, здійснюється перехід від мас початкового шліфпорошку та того ж порошку після нанесення на нього покритву, до їхніх об'ємів. Матимемо

$$\mu = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{а}}} \frac{v_{\text{п}}}{v_{\text{а}}} , \quad (2)$$

де $v_{\text{а}}$, $v_{\text{п}}$ – середні значення об’ємів зерна початкового шліфпорошку та з нанесеним на нього покритвом відповідно (мкм^3), $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{а}}$ – густина матеріалу покритву та НТМ відповідно. При цьому зазначені об’єми визначаються на підставі результатів сучасного автоматизованого діагностування (наприклад, на приладі DiaInspect.OSM) морфометричних характеристик початкового та модифікованого шліфпорошків.

Важливим методичним елементом запропонованого тут способу визначення ступеню покритву є також 3D модель зерна абразивного порошку. Попередніми нашими дослідженнями [6, 7] доведено, що найбільш адекватною у сенсі визначення середнього значення об’єму зерна порошків НТМ є екстраполяційно-афінна 3D модель [7]. Для практичної реалізації на базі цієї 3D моделі зерна запропонованого способу визначення ступеню покритву створено відповідне програмне забезпечення. Його застосування дозволяє оперативно і з великою достовірністю отримувати реальні значення товщини покритву зерен порошків НТМ, створюваного рідинно-фазовим методом.

Література

1. Прудников, Е.Л. Абразивосодержащие электрохимические покрытия // Е.Л. Прудников, Т.М. Дуда, А.С. Зарицкий. – К. : Наук. думка, 1985. – 216 с.
2. Ройх, Н.Л. Нанесение металлических покрытий на порошки методом напыления в вакууме / Н.Л. Ройх, Н.Н. Новиков // Порошковая металлургия. – 1975. – №8. – С. 1–9.
3. Богатырева, Г.П. Влияние модифицирования поверхности на термостойкость и термопрочность шлифпорошков из синтетических алмазов / Г.П. Богатырева, Ю.И. Никитин, А.Н. Панова, В.Г. Полторацкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 293–297.
4. Лавриненко, В.И. Окислення або оксидні матеріали в зоні обробки кругами з НТМ, як чинник впливу на показники процесу шліфування / В.И. Лавриненко, В.Ю. Солод // Сверхтв. мат. – 2016. – № 6. – С. 52–60.

5. Новиков, Н.В.. Компьютерное диагностическое сито для идентификации зернистости и зернового состава микроскопических проб алмазных шлифпорошков / в Н.В. Новико, Ю.И. Никитин, Г.А. Петасюк. // Сверхтв. мат. – 2003. – № 3. – С. 71–83.

6. Петасюк, Г.А. Аналитическое определение количества зерен в одном карате алмазного порошка на основе экстраполяционно-аффинной 3D модели зерна / Г.А. Петасюк, Сирота Ю.В. // Сверхтв. мат. – 2012. – № 3. – С. 70–82.

7. Петасюк, Г.А. Дискретно-геометрический метод определения внешней удельной поверхности порошков сверхтвердых материалов / Г.А. Петасюк // Измерительная техника. – 2008. – № 1. – С. 59–64.

8. Петасюк, Г.А. Экстраполяционно-аффинная 3D модель зерна порошков сверхтвердых материалов и ее инженерия / Г.А. Петасюк // Современные проблемы естественных наук. – 2014. – т. 1(2). – С. 57–62.

*Поліщук Д.В., Мельничук П.П. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна*

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПРЯМНИХ СТАНИН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ТОКАРНОЇ ГРУПИ

Витрати на ремонт і технічне обслуговування металорізальних верстатів в декілька разів перевищують їх вартість. Тому проблема забезпечення надійності і довговічності верстатів при їх виготовленні і ремонті сьогодні носить актуальний характер. Один з напрямків її вирішення безпосередньо пов'язане з підвищенням зносостійкості напрямних станин.

Знос напрямних обумовлений їх неповним захистом від попадання стружки, піску і абразиву і малими швидкостями переміщень, які не дозволяють забезпечити утворення масляних клинів. Напрямні головного руху в основному виходять з ладу через заїдання.

У металорізальних верстатах застосовують два основних типи напрямних: ковзання і кочення.

Напрямні ковзання класифікуються по різних режимах тертя, а саме граничним, гідродинамічним, гідростатичним та змішаним. Найбільшого поширення набули напрямні зі змішаним режимом тертя. Їх

перевага полягає в тому, що вони володіють великою навантажувальною можливістю, жорсткістю і здатністю демпферувати. До негативних сторін відноситься сильне тертя, яке обмежує переміщення вузлів і механізмів, що веде до швидкого зносу напрямних.

Напрямні кочення розрізняються типом тіл кочення (ролики або кульки), конструктивними формами, видами кінематики. Вони володіють малим тертям, забезпечують високу плавність переміщень, допускають високі швидкості і прискорення переміщень. Їх основними недоліками є відносно низьке демпферування, підвищена чутливість до забруднення, а також висока вартість.

Можливі випадки застосування комбінованих напрямних, у яких по одним гранях використовується ковзання, за іншими – кочення.

Напрямні верстатів виконують переважно заодно з литою станиною з чавуну різних марок: сірий чавун – СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21, СЧ24, СЧ35; високоміцний чавун – ВЧ45-5.

Сталеві зварні станини застосовують при відносно простих формах, в індивідуальному і дрібносерійному виробництві, а також при великих навантаженнях. Необхідну зносостійкість зварних станин можна забезпечити за допомогою накладних направляючих. Зазвичай їх виготовляють зі сталі з зміцненням до високої твердості (59 HRC), що підвищує їх зносостійкість.

На рис. 1 показані напрямні токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62, де поверхні 4–6, по яких переміщається задня бабка,

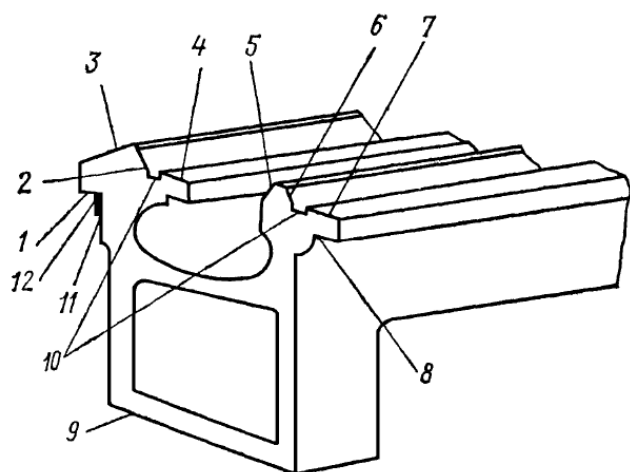


Рис. 1 – Напрямні станини токарно-гвинторізного верстата мод. 1К62

значно менше зношується, ніж поверхні 1–3, 7 і 8. Відповідно, при зносі поверхонь 4, 5 і 6 на 0,03 мм поверхню 8 виявилася зношеною на 0,10 мм, поверхня 7 – на 0,08 мм, поверхня 1 – на 0,05 мм, поверхня 3 – на 0,25 мм і поверхня 2 – на 0,35 мм. Внаслідок такого великого зносу при ремонті доводиться поглиблювати канавки 10, а поверхні 9, 11 і 12 використовувати як базові.

Виявлено, що напрямні 2, 3, 7 для переміщення каретки супорта більш навантажені, ніж напрямні для переміщення задньої бабки.

Однак швидкості зношування напрямних залежать також і від характеру виконуваних робіт - в патроні або в центрах. В останньому випадку зношуються інтенсивніше і напрямні переміщення задньої бабки.

Відповідно до ГОСТ 18097-93 при ремонті станин токарних верстатів допускається непрямолінійність (в сторону випуклості) не більше 0,02 мм на довжині 1000 мм.

З метою підвищення зносостійкості напрямних станин верстатів застосовується поверхнево-пластичне деформування матеріалу. Обкатка кульками (роliками) плоских поверхонь забезпечує поверхневе деформування мікронерівностей, зміцнення поверхневого шару деталі і призводить до зниження шорсткості оброблюваної поверхні ($Ra\ 0,1-2,0$).

Обкатка проводиться на поздовжньо-стругальні верстаті після чистового стругання. Негативними факторами, що обмежують використання обкатки кульками (роliками) напрямних, є перенаклеп поверхневих шарів, отримання занадто гладкої поверхні, здатної утримувати масло, нерівномірне протікання в деяких випадках пластичного деформування, пов'язане з неправильним налаштуванням інструменту.

Вібраційне накатування і вигладжування з утворенням тонкого пластично деформованого зміцненого шару напрямних станин застосовують з метою створення регулярних мікрорельєфів сферичного профілю. Вібронакатування сталевими загартованими кульками застосовують при обробці плоскої поверхні з твердістю до 40 HRC. Вібровигладжуванням з використанням сферичного наконечника з алмазу або іншого надтвердого матеріалу можна обробляти поверхні високої твердості до 50–60 HRC.

При вібраційному накатуванні відбувається створення системи канавок, яка сприяє збільшенню маслоспоживності поверхні. Зносостійкість напрямних станин верстатів, оброблених, наприклад, способом вібронакатуванням, в 1,6 раз вище в порівнянні з шабрувальними напрямними. Однак, разом з перевагами, процес вібронакатування має і суттєві недоліки: процес є малопродуктивним і не забезпечує зміцнення всієї оброблюваної поверхні (площа канавок становить лише близько 40%); створена система канавок, крім мастила, утримує тверді частинки, що викликають абразивний знос.

Слід також зазначити, що виготовлення спеціальних кульок з певного матеріалу з заданою точністю для вібраційного накопчування надзвичайно ускладнене, а виготовлення сферичних наконеч-

ників з будь-якого матеріалу нескладно. Тому вібровигладжування є методом, що має більш широкі технологічні можливості в порівнянні з вібронакочуванням, але в багатьох випадках поступається йому по продуктивності.

Для зміцнення поверхні напрямних використовують статикоімпульсну обробку (СІО). Її особливістю є комбіноване статичне і динамічне навантаження осередку деформації. Основний деформаційний вплив відбувається за рахунок динамічної складової навантаження, яка формується в ударній системі і повідомляється в осередок деформації у вигляді імпульсу.

Технологія зміцнення СІО включає наступні етапи: попереднє статичне і подальше періодичне імпульсне навантаження інструменту. СІО здійснюється за допомогою спеціального розробленого високо-частотного генератора механічних імпульсів, що дозволяє регулювати енергію і частоту імпульсів в широкому діапазоні. Перевагами СІО перед іншими способами ППД є високий коефіцієнт передачі енергії зміцнюючій поверхні, можливість впливу на зміцнюючу поверхню керованим імпульсом, компактність пристрою для зміцнення, можливість установки його на металообробне обладнання.

Однак при такому способі обробки можливий перенаклеп поверхні заготовки, що може мати негативні наслідки в процесі експлуатації.

Новим процесом для зміцнення плоских поверхонь є імпульсно-ударна пневмовібродинамічна обробка (ПВДО). Вона призначена для фінішної безабразивної обробки напрямних станин металорізальних верстатів з метою підвищення їх зносостійкості в 1,5–2,0 рази в порівнянні з шліфованими поверхнями.

Сутність ПВДО полягає в різноспрямованого багаторазовому імпульсно-ударному впливі деформуючих кульок, які отримують ударні імпульси від кульок, на вихідний мікрорельєф оброблюваної поверхні. Джерелом енергії для приносять куль є стиснене повітря, який спрямовується тангенціально розташованими по окружності соплами при його адіабатичному закінченні. Завдяки турбулентному кільцевому потоку стисненого повітря всі кульки інтенсивно охолоджуються, що обумовлює їх значну стійкість.

Використання ПВДО для ремонту направляючих токарного верстата має такі переваги:

- зниження трудомісткості обробки напрямних в 5–6 разів у порівнянні з застосовувалися раніше шліфуванням без охолодження і в 2–3 рази по порівнянню з шліфуванням з використанням охолодження;

- відсутність шаржування оброблюваної поверхні абразивними мікрочастинками;
- відсутність задирів під час підробітки поверхонь пари тертя;
- відсутність мікротріщин, що є осередками руйнування поверхні і корозії і присутніх на поверхні після традиційних способів обробки різанням;
- зменшення коефіцієнта тертя між контактуючими поверхнями на 20%;
- наявність деформаційного зміцненого шару на глибину до 0,1 мм з твердістю на поверхні до 42 HRC в результаті ударної дії сталевих кульок;
- підвищення маслоємності поверхні на 30% за рахунок створення на ній сітки мікролунок, які є одночасно мікропідшипниками.

Аналіз представлених методів підвищення зносостійкості напрямних станин показав, що найбільш прийнятним остаточним способом обробки є поверхневе пластичне деформування, що дозволяє отримати зміцнений поверхневий шар з підвищеними фізико-механічними властивостями і збільшити маслоємність поверхні без значних матеріальних витрат.

Найбільш ефективною фінішною технологією для обробки напрямних станин верстатів токарної групи при їх виготовленні і ремонті на підприємствах є ПВДО, яка містить в собі всі переваги ППД, призводить до зниження зносу і підвищення терміну служби напрямних.

*Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лавріненко В.І.,
Білоченко В.П., Леценко О.В. Інститут надтвердих
матеріалів ім.В.М.Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю. Дніпровський державний технічний
університет, Кам'янське, Україна*

МОДИФІКУВАННЯ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ І КОМПАКТІВ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ cBN, ЩО БУДУТЬ ВИКОРИСТАНІ У ШЛІФУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

Попередніми нашими роботами [1, 2] показано можливість застосування компактів з мікропорошків НТМ для підвищення ефек-

тивності шліфувального інструменту. Для подальшого підвищення ефективності роботи шліфувального інструменту запропоновано застосувати шліфпорошки з модифікованою поверхнею.

В цій роботі надано результати розробки технологічних режимів модифікування термостійкими оксидами і хлоридами шліфпорошків синтетичного алмазу та порошків з компактів на основі мікропорошків cBN, структурованих вуглецевою зв'язкою. Для проведення досліджень були відібрані усереднені проби первинних матеріалів:

- шліфпорошків з синтетичного алмазу:
 - 1) AC6 125/100
 - 2) AC15 250/200, металізованого Ni;
- шліфпорошків з компактів на основі мікропорошків cBN, структурованих вуглецевою зв'язкою, – 2-х типів (звичайний та підвищеної міцності) – зернистості: 125/100, 160/125, 200/160, 315/250, 630/500;
- суміші шліфпорошків: AC6 125/100 + компакт 125/100 (1:1).

Модифікування шліфпорошків 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. Методом гравіметрії після нанесення покриття визначено відносну кількість модифікатора.

Для визначення термостійкості порошків з покриттям застосовували метод гравіметрії. Термообробку первинних та модифікованих зразків проводили в трубчатій печі при температурі 800–900 °C у повітряному середовищі протягом 30 хв. Зразки зважували до та після нагрівання та вираховували коефіцієнт термостабільності, $K_{тс}$. Результати досліджень наведено в табл. 1. Дослідні зразки сумішей порошків синтетичного алмазу та компактів, як первинних, так і модифікованих як окремо термостійкими оксидами, так і сумішами оксидів та хлоридів, було підготовлено для виготовлення шліфувального інструменту.

На підставі аналізу результатів проведених досліджень можна констатувати, що нанесення покриттів з неорганічних речовин – деяких оксидів і хлоридів – підвищує термостійкість як шліфпорошків синтетичного алмазу, компактів на основі мікропорошків cBN, так і сумішей з шліфпорошків синтетичного алмазу і компактів.

Кращий ефект досягнуто при обробці суміші з композиційного порошку Комп. 125/100 підвищеної міцності та АС6 125/100 борним ангідридом (B_2O_3). Представляє інтерес використання шліфпорошків як з компактів, так і з сумішей композиційного порошку та шліфпорошку синтетичного алмазу з нанесеними термостійкими покриттями в шліфувальному інструменті.

Таблиця 1 – Результати модифікації порошків синтетичного алмазу і компактів насиченими розчинами термостійких оксидів та хлоридів

Порошок СТМ	Модифікатор	Відносна кількість модифікатора, %	K_{TC}
АС6 125/100	$CaCl_2^*$	8,2	0,95
АС6 125/100	NaCl	9,7	0,98
АС6 125/100	B_2O_3	7,4	
АС6 125/100	B_2O_3 (тричі)	6,3	
АС6 125/100	$MgCl_2^*$	6,0	0,92
АС6 125/100	$FeCl_3^*$ (5 мл розчину)	5,2	0,97
АС6 125/100	$B_2O_3+CaCl_2^*$	8,7	0,94
АС6 125/100	B_2O_3+NaCl	9,2	0,98
АС15 250/200 (Ni)	B_2O_3	5,9	0,95
Компакт 630/500 (1-й тип)		6,8	0,94
Компакт 125/100 (1-й тип)		6,7	0,96
Компакт 160/125 (1-й тип)	B_2O_3 (двічі)	4,1	0,97
Компакт 315/250 (1-й тип)	B_2O_3	5,1	
Компакт 200/160 (1-й тип)		5,4	0,96
АС6 125/100+ комп. 125/100 (1-й тип)		5,5	
Компакт 125/100 (1-й тип) первинний			0,93
АС6 125/100 первинний			0,91
Комп. 125/100 (2-й тип) первинний			0,94
Комп. 125/100 (2-й тип) + АС6 125/100	B_2O_3	3,2	0,99

*Гігроскопічні порошки, притягують вологу з повітря

Література

1. Лавриненко, В.І. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / В.І. Лавриненко, В.Ю. Солод. – Каменское : ДГТУ, 2016. – 529 с.

2. Лавріненко, В.І. Дослідження зносостійкості алмазного шліфувального інструменту, робочий шар якого містить різнодисперсні абразивні порошки з композиційних матеріалів // В.І. Лавріненко, В.Г. Полторацький, В.В. Скрябін, В.Ю. Солод // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2017. – т. 1, № 2 (80). – С. 79–83.

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І. Національний транспортний університет, Київ,
Немировський Я.Б. Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОТЯГУВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИМ РУХОМ

Обробка деформуючими, різальними і комбінованими протяжками (протягування) є високопродуктивним процесом. Між тим, цей процес можна інтенсифікувати додатковими видами енергії. Це дозволить розширити можливості операції стосовно деталей із практично усіх конструкційних та інструментальних матеріалів у будь-якому стані та вирішити проблему, що ставить інженерія поверхні (модифікування поверхні, поверхневого шару і основного металу деталі механічною обробкою) [1].

Види додаткової механічної енергії, що вводиться у зону протягування, наведені на рис. 1.

У випадку, коли інструменту, одночасно з поступальним рухом, надається ще й обертальний, відбувається суттєве зниження осьових сил протягування і поліпшення основних фізико-механічних і геометричних характеристик оброблюваної поверхні та поверхневого шару деталі. Отже, реалізація схеми протягування з обертанням інструменту дозволяє істотно розширити технологічні можливості цього процесу, зокрема у випадку обробки тонкостінних деталей, а також деталей із важкооброблюваних матеріалів. У першому випадку, коли втрата стійкості заготовки обмежує застосування великих

натягів та існує необхідність отримання низьких значень висоти мікронерівностей і високої точності обробки, проблему можна вирішити застосуванням протягування з додатковим обертанням. У другому випадку, коли існує небезпека адгезійних явищ, зменшення величини характеристик у зоні контакту знижує вірогідність виникнення таких явищ.



Рис. 1 – Види додаткової енергії, що вводяться у зону протягування

Таким чином, використання додаткового обертального руху при протягуванні (інструменту чи деталі) слід віднести до процесів із введенням в зону обробки додаткової енергії.

На рис 2. показано особливості деформуючого протягування з обертанням інструменту та схема сил, прикладених до останнього у цьому випадку.

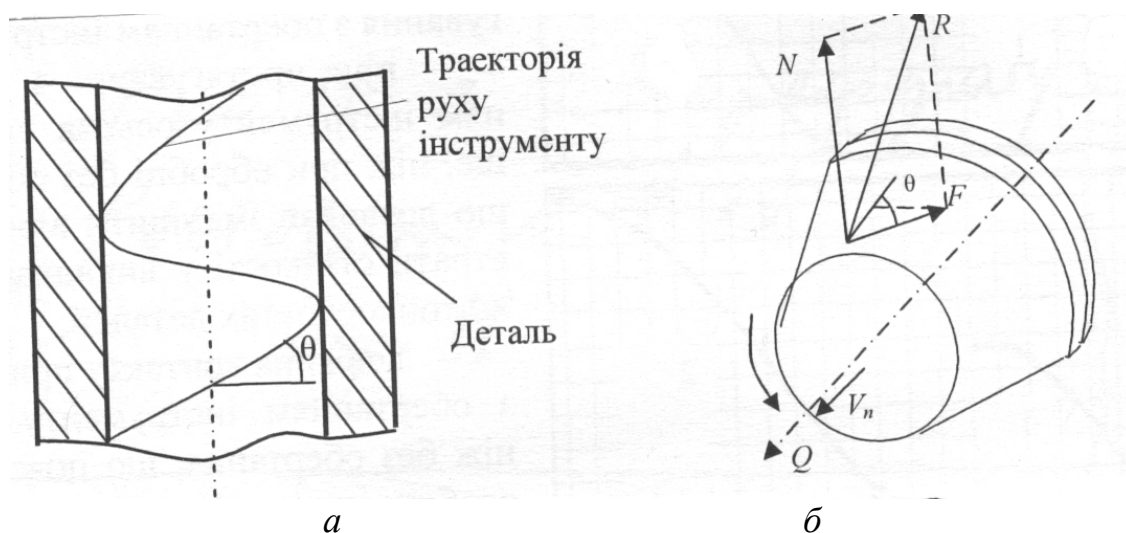


Рис. 2 – Особливості деформуючого протягування з обертанням інструменту: *a* – схема переміщення інструменту у заготовці; *б* – схема сил, які прикладено до деформуючого елемента протяжки

Із рис. 2 витікає, що осьова сила при протягуванні з обертанням інструменту менша, ніж без обертання. Сила взаємодії інструменту із заготовкою R розкладається на дві складові: нормальну силу N і силу тертя F . Сума проекцій цих сил на вісь дорівнює осьовій силі протягування Q :

$$Q = F \cdot \cos \alpha + N \cdot \sin \alpha. \quad (1)$$

Оскільки величина роздачі деталі при обробці з обертанням і без обертання однакова, буде однаковою і нормальна сила в обох випадках. Таким чином, при обробці з обертанням відбудеться поворот сили тертя на величину кута нахилу θ гвинтової траєкторії відносного переміщення інструмента у деталі, тобто:

$$Q = F \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta + N \cdot \sin \alpha. \quad (2)$$

На практиці значення кута θ знаходиться у межах $\theta = 20\text{--}70^\circ$.

Установлено, що при використанні схеми протягування з обертанням довжина контакту буде більшою, ніж при обробці без обертання. У цьому випадку при зменшенні кута підйому гвинтової лінії довжина контакту буде збільшуватись і, як наслідок, зменшиться контактний тиск. Збільшенням шляху тертя за рахунок обертального руху інструменту можна суттєво вплинути на формування топографії обробленої поверхні, особливо, зменшуючи показники шорсткості. У той же час, збільшення деформаційного зміцнення при використанні протягування з обертанням викличе підвищення мікротвердості, тобто

зносостійкості цієї поверхні (рис. 3).

Таким чином, зміна кутів нахилу траєкторії відносного переміщення від 70° до 20° впливає на формування осередку позаконтактної деформації перед інструментом, що спричиняє зміну ряду технологічних параметрів процесу, а саме: довжина контакту збільшується до 30%, контактний

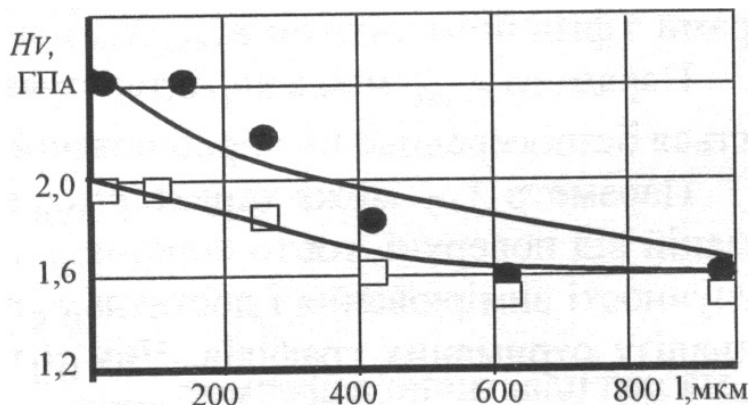


Рис. 3 – Залежність мікротвердості від глибини поверхневого шару з титанового сплаву VT1-0 після протягування з обертанням (•)

тиск зменшується на 30%, осьова сила зменшується на 20% [2].

Схема протягування з обертанням може бути ефективно використана для зменшення значень шорсткості (до 30%) та підвищення значень мікротвердості (до 25%) у порівнянні з обробкою без обер-

тання, та для запобігання втрати стійкості заготовки при обробці тонкостінних деталей і зменшення адгезійних явищ у контакті.

Нами також досліджувалось і рекомендоване для виробництва різальне протягування з примусовим обертанням інструменту, що включає обробку отворів при одночасному осьовому та обертальному русі гвинтової протяжки. Матеріал протяжки Р12Ф5М. Осьова швидкість протягування 0,72–2,40 м/хв., МОР – рідина на масляній основі, Ra 2,5, точність – квалітет Н6–Н8. Область застосування сталі 30ХГСА та 30ХГСНА, сплав ВТ-5Л та пакет із них. Втомна міцність конструкційних елементів з отворами – розвернутими та протягнутими з обертанням протяжки, знаходилося на одному рівні.

Особливості описаного процесу з обертанням різальної протяжки полягають у наступному:

- протягування отворів здійснюється у матеріалах, що термооброблені до необхідних фізико-механічних характеристик;
- обробка отворів виконується у зібраних вузлах машини (наприклад, транспортного літака), що обмежує використання ряду ефективних МОР, які викликають корозію;
- обмеження також стосується довжини протяжного інструменту і особливостей конструкції останнього.

Пересувні пневмогідравлічні установки зі спеціальними пристроями для закріплення та обертання протяжок з тяговим зусиллям 3–8 тс описані нами раніше [3].

Додатковий обертальний рух може здійснюватись також за рахунок обертання деталі при протягуванні. Інструмент при цьому виконує лише головний (прямолінійний) рух. Використання запропонованого способу додаткового обертального руху при протягуванні дозволяє у даному випадку формувати на внутрішніх циліндричних поверхнях деталей регулярний рельєф [4].

Слід зауважити, що експлуатація протяжок із введення в зону обробки додаткової енергії може також відбуватись за рахунок комбінування різних видів цієї енергії. Наприклад, при розвальцюванні кінців труб із неіржавіючої сталі для боротьби з адгезійними явищами доцільно використовувати поєднання додаткового обертального руху інструменту з поданням у зону обробки ультразвукових коливань.

Література

1. Посвятенко, Е.К. Інтенсифікація процесу протягування додатковою енергією / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, О.В. Чер-

нявський // Оборудование и инструмент для профессионалов (металлообработка). – 2019. – № 2. – С.18–21.

2. Розенберг, О.А. Некоторые особенности контактного взаимодействия инструмента с заготовкой при деформирующем протягивании с вращением инструмента / О.А. Розенберг, С.Е. Шейкин, И.Ю. Ростоцкий // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып.10. – С. 427–435.

3. Розенберг, А.М. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг, Э.К. Посвятенко и др. – К. : Наук. думка, 1978. – 256 с.

4. Пат.119711 Україна. Спосіб формування регулярного мікрорельєфу / І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський, Е.К. Посвятенко та ін.; Промислова власність. – 2017. – № 19.

*Рощупкин В.В., Терентьев В.Ф., Пенкин А.Г.,
Покрасин М.А., Пенкин М.А., Теплов А.О.* Институт
металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова ран, Москва, Россия

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТРИП-СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ

Исследовались акустико-эмиссионные и механические характеристики при статическом растяжении высокопрочной трип-стали ВНС9-Ш с различным исходным содержанием мартенсита. Установлена и проанализирована корреляция вида кривых растяжения и акустико-эмиссионных (АЭ) характеристик с изменением содержания мартенсита деформации в поверхностных слоях трип-стали при статическом растяжении. Оптимальные механические свойства отмечены у трип-стали в аустенитно-мартенситном состоянии с примерно равным содержанием фаз.

В работе проведено исследование механического поведения высокопрочной трип-стали ВНС9-Ш (23Х155АМ3-Ш) с различным исходным содержанием мартенсита и корреляция этого поведения с

кинетикой мартенситного превращения на различных стадиях статического растяжения методом акустической эмиссии (АЭ). Важность работы обусловлена областью применения материала – торсионы несущих винтов вертолѐта. Наряду с этим высокая чувствительность тонколистовой трип-стали ВНС9-Ш с метастабильным аустенитом к температурно-силовому воздействию может при многоступенчатой технологии её производства привести к некоторому колебанию содержания фаз – пластичного аустенита и упрочняющего мартенсита деформации – и к неопределѐнности в механическом поведении. Ранее для трип-стали с аустенитной и аустенитно-мартенситной структурами с привлечением методов рентгеноструктурного анализа и акустической эмиссии установлена корреляция вида диаграмм статического растяжения с образованием мартенсита деформации в поверхностных слоях ленты и его деформированием [1–3]. Следует отметить, что спектральные и энергетические характеристики АЭ успешно используются для анализа стадийности деформации и изучения структурных и фазовых изменений металлических материалов при статическом растяжении [4–7].

В настоящей работе исследована трип-сталь ВНС9-Ш со 100%-ным содержанием мартенсита деформации в поверхностных слоях и выполнен анализ влияния количества мартенсита на механическое поведение и особенности фазового превращения в этой стали.

Материалом исследования являлась лента из трип – стали ВНС9-Ш, изготовленная по ТУ14-1-4126–86. Химический состав стали, % (мас.): 0,20–0,25 С; 14,5–16,0 Cr; 4,8–5,8 Ni; 2,7–3,2 Мо; $Mn \leq 1,0$; $Si \leq 0,6$; 0,03–0,07 N; $S \leq 0,01$; $P \leq 0,015$; Fe – основа. Изучали механическое поведение трип-стали в трех структурных состояниях (по данным рентгеноструктурного анализа): аустенитном (партия I) [1], аустенитно–мартенситном (с 53% мартенсита и 43% аустенита) (партия II) [2] и мартенситном (партия III) [3]. Лента партий I была получена путѐм закалки с температуры 1000 °С, партий II и III – холодной прокаткой горячекатаного подката за несколько проходов с промежуточной термической обработкой [8].

Испытания на растяжение со скоростью 5 мм/мин при комнатной температуре осуществляли с использованием плоских образцов с размером рабочей части 7×200 мм и 20×20 мм на электромеханической 10-т машине Instron 3382. Толщина образцов партии I составляла 1 мм, партий II и III – 0,3 мм.

АЭ-исследования проводили с использованием акустико-эмиссионной диагностической системы СДС1008 [9], обеспечивающей регистрацию амплитудных, энергетических и спектральных характеристик сигналов АЭ в частотном диапазоне 50-1000 кГц, а также определение линейных координат источников АЭ вдоль рабочей части образца. Преобразователи АЭ устанавливали в области переходов от рабочей части образца к более широким его частям.

Трип-сталь с аустенитной структурой. В структуре аустенитной стали присутствуют двойники отжига; средний размер аустенитного зерна составляет 50 мкм (рис. 1, а). Механические свойства стали: $\sigma_B = 775$ МПа, $\sigma_{0,2} = 307$ МПа, $\delta = 40\%$.

На кривой растяжения стали в аустенитном состоянии отсутствует физический предел текучести, а за стадией микротекучести следует стадия деформационного упрочнения с высоким коэффициентом упрочнения (рис. 2, а). На стадии деформационного упрочнения при достижении деформации 10–13% начинается зубчатое течение, что связано с образованием мартенсита деформации. Важно, что окончательное разрушение образца не было вызвано формированием узкой шейки. Этот факт можно объяснить тем, что в момент локализации деформации перед окончательным разрушением происходит наиболее интенсивное образование мартенсита деформации, для которого характерна невысокая пластичность. Содержание мартенсита деформации в момент разрушения образца, по данным рентгеноструктурного анализа, составило 22% [2].

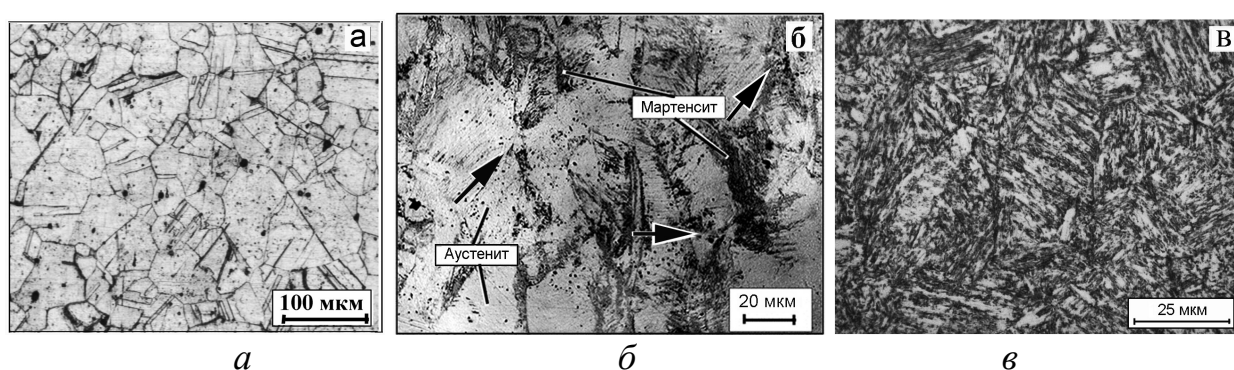


Рис. 1 – Структура трип-стали ВНС9–Ш с содержанием мартенсита деформации 0%(а), 56% (б), 100% (в)

При АЭ-исследовании зафиксировано два пика активности АЭ: первый на стадии микропластичности, а второй – ближе к условному пределу текучести (рис. 3, а). Первый максимум АЭ обычно объясняется коллективным движением и размножением дислокаций в облас-

ти границ зёрен и преимущественно в поверхностных слоях металла, а второй распространением лавины дислокаций во всем объеме металла. Амплитуда сигналов АЭ на этой стадии составляет 30-40 дБ.

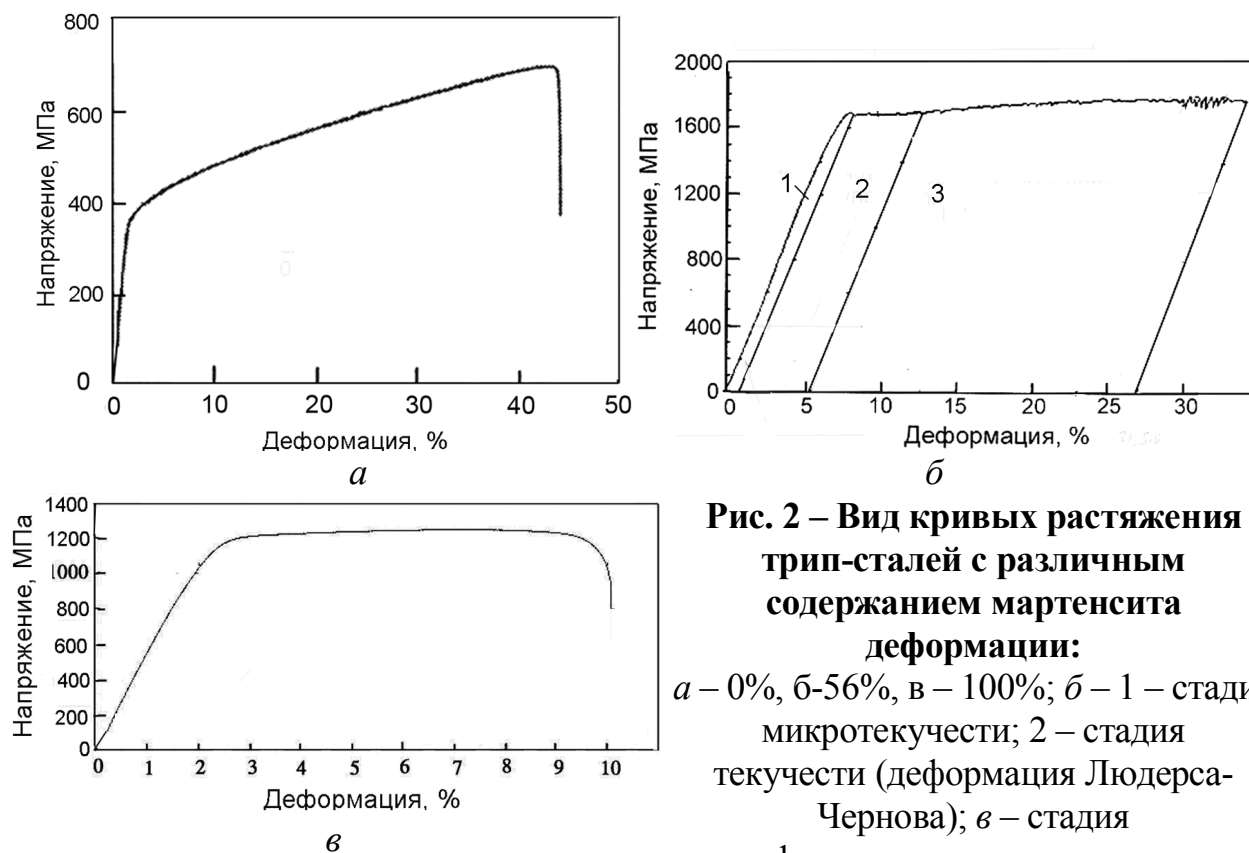


Рис. 2 – Вид кривых растяжения трип-сталей с различным содержанием мартенсита деформации:

а – 0%, *б*–56%, *в* – 100%; *б* – 1 – стадия микротекучести; 2 – стадия текучести (деформация Людерса-Чернова); *в* – стадия деформационного упрочнения

На стадии деформационного упрочнения при низком общем уровне активности и энергии АЭ, начиная с деформации 10–13% и до окончательного разрушения, регистрируются импульсы большой амплитуды. Это характерно для сигналов АЭ, сопровождающих процессы пластической деформации фазовых превращений. Мощные импульсы регистрируются на протяжении всего деформирования, а суммарная энергия АЭ перед разрушением составляет $4,97 \cdot 10^{-6}$ Дж, при этом максимальный уровень АЭ достигается на начальной стадии деформационного упрочнения (рис. 3, *б*).

Аустенитно-мартенситная трип-сталь. Структура аустенитно-мартенситной стали в исходном состоянии представлена наклепанным аустенитом (44%) и мартенситом деформации (56%); средний размер зерна аустенита 25 мкм (рис. 1, *б*). Механические свойства стали: $\sigma_B = 1837$ МПа, $\sigma_T = 1650$ МПа, $\delta = 27\%$.

Вид кривой растяжения стали с аустенитно-мартенситной структурой заметно отличается от вида кривой растяжения аустенитной стали (рис. 2, *б*). На кривой растяжения аустенитно-мартенситной

стали четко выражены все основные стадии деформирования: развитая, протяженностью до 1% общей деформации, стадия микротекучности, anomalно протяженная стадия текучести (деформации Людерса-Чернова) – до 8% общей деформации; пологая стадия деформационного упрочнения.

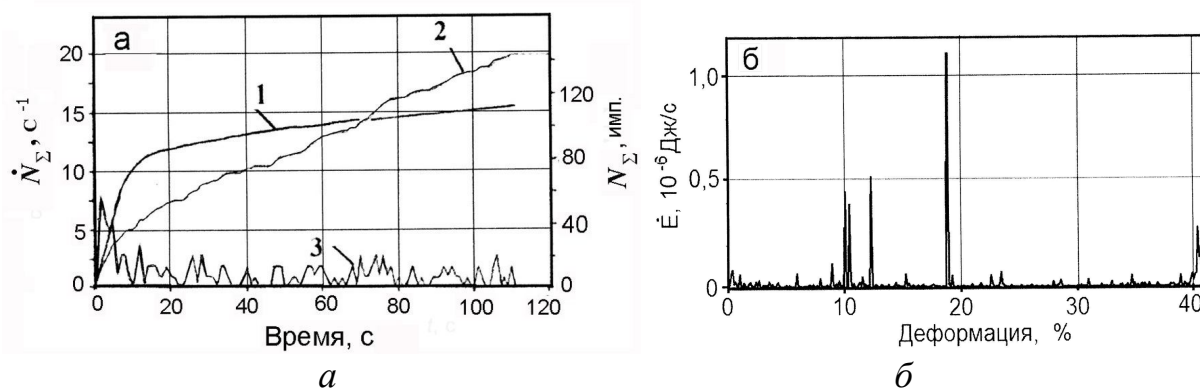


Рис. 3 – Изменение характеристики АЭ при статическом растяжении трип-стали с аустенитной структурой:

а: 1 – кривая растяжения, 2 – общее число импульсов; *б* – энергия сигналов АЭ

Выраженное зубчатое течение начинается со стадии текучести, наиболее интенсивно этот процесс наблюдается в конце стадии деформационного упрочнения. У аустенитно-мартенситной стали так же, как и у стали в аустенитном состоянии, в момент локализации деформации перед окончательным разрушением происходит наиболее интенсивное образование мартенсита деформации.

Характер изменения основных параметров АЭ аустенитно-мартенситной и аустенитной стали при статическом растяжении очень схож (рис. 4), но дополнительное образование мартенсита деформации начинается с развитием деформации Людерса – Чернова. Для стали в этом структурном состоянии на стадии микротекучности также наблюдается два пика активности АЭ, физическая природа этих пиков также идентична. Однако второй пик активности зарегистрирован до физического предела текучести.

Коэффициент деформационного упрочнения стали в аустенитно-мартенситном состоянии более низкий, чем стали в аустенитном состоянии. Этому соответствует и относительно низкий уровень сигналов АЭ. Однако после пластической деформации около 23% интенсивность АЭ лавинообразно возрастает в течение 17 с и достигает максимума в момент разрушения. Суммарная энергия АЭ перед разрушением составляет $2,33 \cdot 10^{-6}$ Дж. Рентгеноструктурный анализ показал, что после разрушения в стали содержится 72% мартенсита деформации.

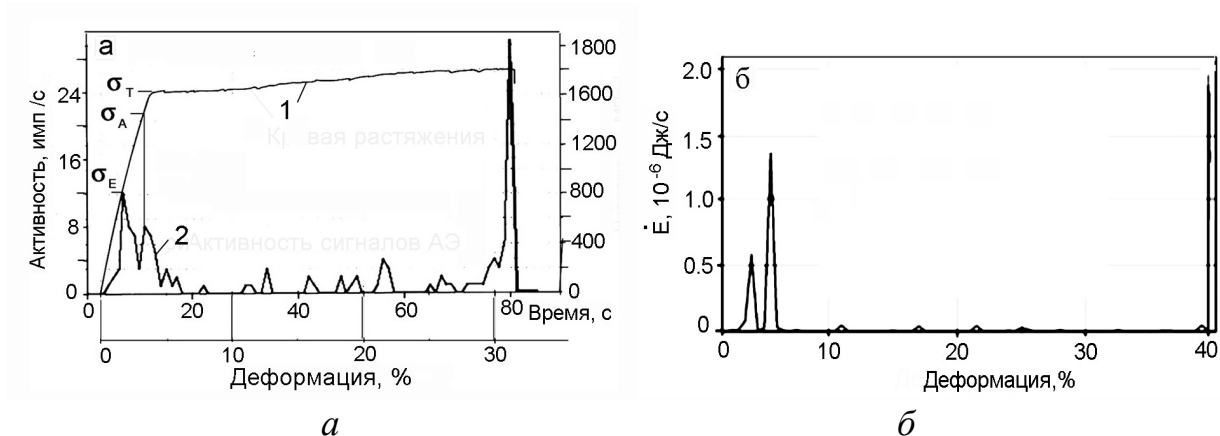


Рис. 4 – Изменение характеристик АЭ при статическом растяжении аустенитно–мартенситной стали: а: 1 – кривая растяжения; 2 – активность АЭ; σ_E – напряжение движения дислокаций у границ зерен и преимущественно в поверхностных слоях металла; σ_A – напряжение размножения дислокаций во всем объеме материала; σ_T – физический предел текучести, б – энергия сигналов АЭ

Процесс локализации деформации на площадке текучести в виде фронта полос Людерса-Чернова хорошо изучен в отличие от кинетики формирования зубчатого течения. В работе был проведен специальный эксперимент, в котором для регистрации кинетики распространения полос Людерса-Чернова и формирования зубчатого течения на стадии деформационного упрочнения использовали программу «Маэстро» [8], позволяющая определять координаты источников АЭ вдоль рабочей части образца. Для этого использовали образцы с более широкой рабочей частью. Места локации высокоамплитудных сигналов АЭ, зарегистрированных в процессе статического растяжения, изображены на рис. 5.

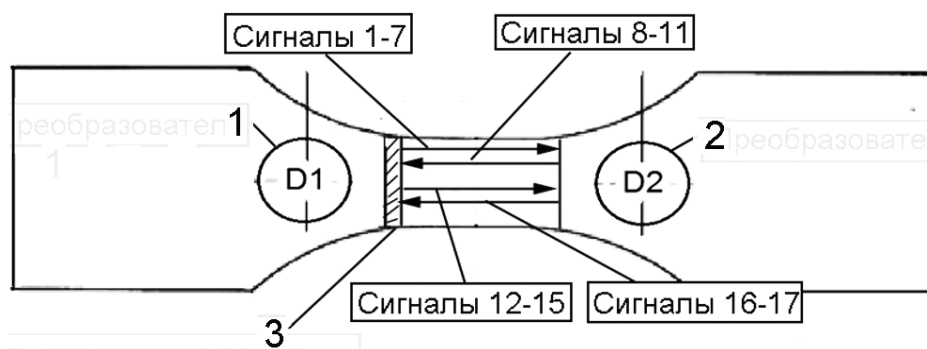


Рис. 5 – Образец для испытания на статическое растяжение и схема распространения сигналов АЭ: D1, D2 – преобразователи АЭ; заштрихованный участок – область зарождения полос Людерса-Чернова и начала скачкообразной деформации на стадии упрочнения, а также окончательного разрушения

Сигналы № 1–11 связаны с прохождением фронта Людерса-Чернова, № 12–17 – с кинетикой формирования зубчатого течения при фазовом превращении на стадии деформационного упрочнения (эффект многошеечности [9]). Таким образом, многократное шейкообразование и связанное с ним зубчатое течение на стадии деформационного упрочнения также происходит в виде фронта, который начинает распространяться от места локализации деформации при формировании первых линий Людерса-Чернова. Важно также отметить, что окончательное разрушение образца происходит в зоне первоначальной локализации деформации.

Мартенситная трип-сталь. Механические свойства стали со 100%-ным содержанием мартенсита деформации в приповерхностных слоях следующие: $\sigma_b = 1250$ МПа, $\sigma_{0,2} = 800$ МПа, $\delta = 10$ %. Структура стали приведена на рис. 1, в.

На кривой растяжения мартенситной стали, так же как и стали в аустенитном состоянии, отсутствует физический предел текучести, однако наблюдается достаточно пологая стадия деформационного упрочнения и, в отличие от кривых растяжения стали с аустенитной структурой и аустенитно-мартенситной стали, – ниспадающий участок в конце стадии деформационного упрочнения (рис. 2, в).

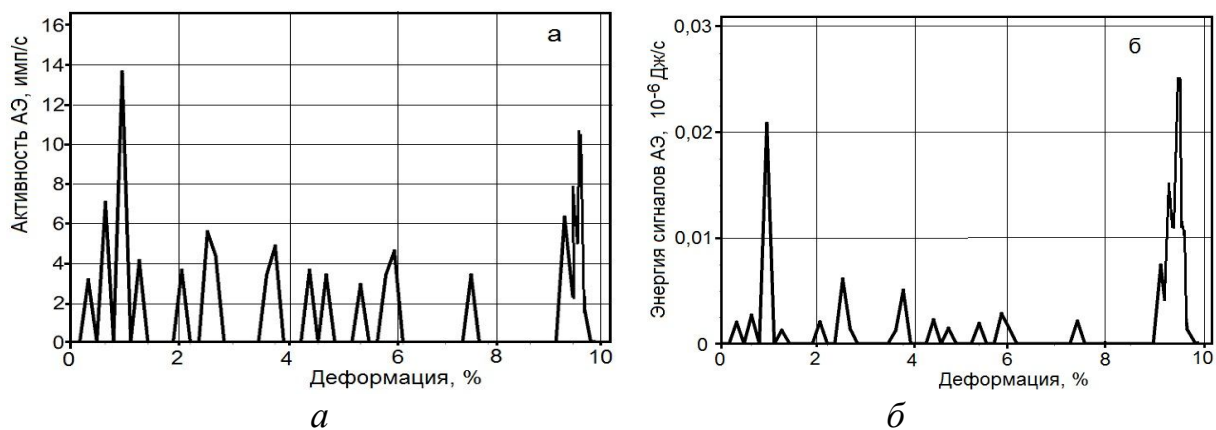


Рис. 6 – Изменение характеристик АЭ при статическом растяжении трип-стали, содержащей 100% мартенсита деформации в поверхностных слоях

Деформирование стали сопровождается регулярной низкоэнергетической акустической эмиссией (рис. 6, а), повышенным уровнем активности на стадии микротекучности и плавным снижением в процессе деформационного упрочнения вплоть до момента начала разрушения. После этого активность сигналов АЭ резко возрастает и достигает максимума при разрушении. Суммарная энергия АЭ на всем протяжении деформирования монотонно возрастает и перед

разрушением достигает $0,52 \cdot 10^{-6}$ Дж (рис. 6, б), что на порядок ниже, чем у стали с преобладанием аустенита.

Известно, что кинетика изменения энергии АЭ характеризует интенсивность процессов сдвигообразования и фазового превращения. При статическом растяжении трип-стали с аустенитной структурой отмечен наиболее высокий уровень суммарной энергии АЭ, что связано с интенсивным развитием процессов сдвигообразования и двойникования, а также с образованием мартенсита деформации. Резкое возрастание суммарной энергии АЭ наблюдается в интервале значений деформаций, когда происходит активное образование мартенсита деформации (рис. 7, кривая 1). Кинетика изменения суммарной энергии импульсов АЭ аустенитной стали коррелирует с видом кривой растяжения металлов с большим коэффициентом деформационного упрочнения.



Рис. 7 – Изменение суммарной энергии импульсов АЭ при статическом растяжении трип-стали с содержанием мартенсита деформации 0% (1), 56% (2); 100% (3)

В аустенитно-мартенситной стали с достаточно большим количеством мартенсита в исходном состоянии образование дополнительного мартенсита происходит с развитием деформации в виде полос Людерса-Чернова. Диаграмма суммарной энергии АЭ этой стали подобна кривой растяжения стали с низким коэффициентом деформационного упрочнения (рис. 7, кривая 2). Снижение суммарной энергии АЭ по сравнению с аустенитной сталью можно объяснить уменьшением длины свободного пробега дислокаций в аустенитной фазе, упрочняющейся в процессе деформации.

В стали с мартенситной структурой в поверхностных слоях и малым содержанием пластичной аустенитной фазы в объеме материала повышение суммарной энергии АЭ с возрастанием степени деформации незначительно (рис. 7, кривая 3).

Таким образом, у аустенитно-мартенситной трип-стали наблюдается хорошая корреляция между количеством мартенсита деформации в исходной структуре, механическими свойствами, видом кривых статического растяжения и характеристиками АЭ. Появление при деформации высокоэнергетичной АЭ может являться характеристикой

начала релаксации внутренних напряжений при γ - α' -превращении. Лучшие механические свойства имеет высоколегированная тонколистовая трип-сталь ВНС9-Ш в аустенитно-мартенситном структурном состоянии [3, 10].

Литература

1. Пенкин, А.Г. Исследование особенностей пластической деформации трип-стали с использованием методов акустической эмиссии и рентгеноструктурного анализа / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, А.А. Ашмарин и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2013. – № 12. – С. 19–24.
2. Пенкин, А.Г. Анализ стадийности деформации трип-стали методом акустической эмиссии / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, В.В. Рощупкин и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2016. – № 10. – С. 35–41.
3. Терентьев, В.Ф. Оценка оптимального количества мартенсита деформации для тонколистовой аустенитно-мартенситной трип-стали ответственного назначения / В.Ф. Терентьев, А.К. Слизов, Д.В. Просвирнин // Деформация и разрушение материалов. – 2017. – № 3. – С. 33–37.
4. Shaira, M. Evaluation of the strain – induced martensitic transformation by acoustic emission monitoring in 304L austenitic stainless steel: Identification of the AE signature of the martensitic transformation and power-law statistics / M. Shaira, N. Godin, P. Guy et al. // Mat. Sci. and Eng. – 2008/ – A 492. – P. 392–399.
5. Vinogradov, A. Kinetics of deformation processes in high-alloyed cast transformation-induced plasticity/twinning – induced plasticity steels determined by acoustic and scanning electron microscopy: Influence of austenite stability on deformation mechanisms / A. Vinogradov, A. Lazarev, M. Linderov et al. // Acta Materialia. – 2013. – v. 61. – . 2434–2449.
6. Меерсон, Е.Д. Исследование стадийности процесса разрушения высокоуглеродистой стали, охрупченной водородом, с применением метода акустической эмиссии / Е.Д. Мерсон, М.М. Криштал, Д.Л. Меерсон и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2012. – № 9. – С. 41–48.
7. Linderov, M. Deformation mechanisms in austenitic TRIP/TWIP steels at room and elevated temperature investigated by acoustic emission and scanning electron microscopy / M. Linderov, C. Segel, A. Weidner et al. // Mat. Sci. and Eng. – 2014. – A. 597. – v. 597. – P. 183–193.

8. Вознесенская, Н.М. Оптимизация технологических режимов получения тонких листов и ленты из коррозионно-стойкой стали ВНС9 – Ш / Н.М. Вознесенская, Э.А. Елисеев, Д.В. Капитаненко, О.А. Тоннышева // Металлы. – 2014. – № 1. – С. 46–51.

9. Пенкин, А.Г. Оценка остаточного ресурса работоспособности трубных сталей с использованием методов акустической эмиссии и кинетической твердости / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, Л.И. Маслов. – М. : Интерконтакт Наука, 2005. – 69 с.

10. Филиппов, М.А. Стали с метастабильным аустенитом / М.А. Филиппов, В.С. Литвинов, Ю.Р. Немировский. – М.: Металлургия, 1988. – 256 с.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-08-00368а).

*Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т.,
Гржибовский Б.Б., Шепелев А.А. Институт
сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины, Киев, Украина*

КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОЛОНА АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Обработка изделий из поролон представляет значительные трудности. Поролон мягкий упругий материал. В тоже время он обладает большой абразивной способностью. Эти факторы затрудняют его обработку, особенно шлифование.

Для шлифования изделий из поролон нами разработаны и изготовлены специальные шлифовальные круги фасонного профиля формы 2FF6 диаметром 150 мм. В качестве абразивного материала для шлифования поролон нами были использованы следующие абразивные материалы: нормальный электрокорунд, кубический нитрид бора (КНБ) и смеси абразивов. Определялась стойкость инструмента, шероховатость обработанной поверхности Ra и производительность обработки.

Анализ результатов испытаний показывает, что шлифовальные круги, содержащие в качестве абразива нормальный электрокорунд, позволяют обработать не более 250 шт. изделий при зернистости

абразива F30 и не более 350 шт. при зернистости абразива F80. По количеству обработанных изделий (стойкость инструмента), круги из нормального электрокорунда не обладают необходимой стойкостью. Шероховатость обработанной поверхности составляет $Ra\ 2,5$ при зернистости абразива F30, что также не обеспечивают необходимого качества изделий. А при зернистости абразива F80 шероховатость обработанной поверхности составляет $Ra\ 1,6$, что соответствует требованию к качеству обработки изделий. Вместе с тем обработка кругами с зернистостью абразива F80 имеет не высокую производительность (до 1,5 м/мин) и не может быть рекомендовано для шлифования изделий из поролон.

При обработке изделий из поролон кругами из КНБ обеспечивается высокая стойкость инструмента (до 600 шт. обработанных изделий), но недостаточная производительность обработки (до 1,5 м/мин), особенно при использовании мелкой зернистости 63/50 (до 1 м/мин). Шероховатость обработанной поверхности при использовании кругов из КНБ составляет $Ra\ 1,6$ при зернистости 200/160 и $Ra\ 1,2$ при зернистости 63/50. Использование данных зернистостей кубического нитрида бора обеспечивает необходимое качество обработки изделий.



Рис. 1 – Инструмент для шлифования изделий из поролон:
а – круги формы 1FF6; *б* – круги формы 2FF6

Обработка изделий из поролон кругами из смеси нормального электрокорунда и КНБ, позволяет значительно повысить эффективность обработки изделий. Так стойкость инструмента составляет 500 шт. изделий. Вместе с тем шероховатость обработанной поверхности при использовании таких кругов составляет $Ra\ 2,0$ при зерни-

стости смеси абразива F30 и КНБ 200/160 и Ra 1,6 при зернистости смеси абразива F30 и КНБ 63/50. Полученная шероховатость, соответствует необходимому качеству обработки изделий. При этом сохраняется высокая производительность обработки (до 3 м/мин).

По результатам исследования обрабатываемости изделий из поролон, была изготовлена партия фасонных шлифовальных кругов формы 1FF6 и формы 2FF6. Шлифовальные круги изготавливались диаметром 150 мм с радиусами профиля $r = 10; 11$ и 20 мм, которые соответствовали радиусам профиля изделий из поролон (рис. 1). Испытания инструмента показали высокую эффективность шлифования изделий из поролон и позволили организовать производство данного инструмента.

Сенють В.Т. Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗОВ НА АМОРФИЗАЦИЮ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Известно, что использование атриторов, планетарных и вибрационных мельниц, дезинтеграторов позволяет существенно повысить эффективность и производительность обработки порошковых материалов, к которым относится гексагональный нитрид бора (hBN). В ходе механоактивации (МА) hBN в атриторе происходит увеличение более чем на порядок удельной поверхности порошка нитрида бора, а также трансформация субструктуры BN от кристаллической к нанокристаллической и аморфной, что способствует повышению химической активности порошка [1].

Анализ литературных данных показывает, что в результате МА hBN происходит снижение технологических параметров фазового превращения исходной гексагональной (графитоподобной) модификации BN в кубическую при последующей обработке BN в условиях высоких давлений и температур [2].

Известно, что использование механически активированного hBN при синтезе cBN повышает степень превращения $hBN \rightarrow cBN$ с 40 до 70 мас.% вследствие формирования в структуре hBN в ходе активации плотных фаз BN, служащими центрами кристаллизации и сти-

мулирующими процесс образования кристаллов cBN [2]. Механическая обработка порошка hBN в планетарной мельнице происходит более интенсивно и приводит к формированию частиц BN с размером кристаллитов в 5–10 раз меньше, чем при обработке в атриторе, при этом удельная поверхность порошка BN увеличивается по сравнению с порошком после атриторной активации в 3–6 раз.

Однако повышение интенсивности механической обработки или увеличение длительности МА одновременно со структурными изменениями приводит к загрязнению поверхности порошка BN материалом мелющих тел, что требует дополнительной химической очистки порошка перед обработкой в условиях высоких давлений и температур. Кроме того, в ряде случаев повышение длительности механоактивации может привести к обратному процессу агломерации и рекристаллизации частиц hBN, что снижает удельную поверхность порошка и соответственно уменьшает его химическую активность. Поэтому актуальным является поиск и оптимизация технологических решений, позволяющих повысить эффективность воздействия на структуру порошка BN без увеличения интенсивности и длительности МА.

Одним из таких подходов может быть связан с введением добавок наноалмазов (НА), используемых для стимулирования структурных и фазовых превращений в hBN при синтезе cBN [3].

Целью данной работы было изучение влияния добавки порошка наноалмазов детонационного синтеза на структуру hBN в процессе МА в планетарной мельнице. Для экспериментов использовали порошок гексагонального нитрида бора (ТУ 26.8–00222226–007–2003) производства ОАО "Запорожский абразивный комбинат", а также порошок наноалмазов (ТУ РБ 28619110.001-95) производства НП ЗАО "Синта". Порошок НА предварительно модифицировали путем высокотемпературного отжига в вакуумной печи [3].

Механическую активацию осуществляли в планетарной мельнице АГО-2 при скорости вращения барабана 1820 об/мин в течение 2–10 мин. В качестве мелющих тел применяли стальные шары. Соотношение масс размольных тел к массе обрабатываемой шихты из порошков hBN и наноалмазов составило 10:1.

На рис. 1, а представлены дифрактограммы порошков hBN и hBN с добавкой 1,5 мас. % наноалмазов после МА. Из представленных данных видно, что добавка модифицированного НА способствует значительной аморфизации hBN (рис. 1, а). На электронограммах об-

разцов присутствуют кольца на основе неразрешимых точечных рефлексов (002) hBN, что подтверждает данные рентгеноструктурного анализа. По данным просвечивающей электронной микроскопии, размер частиц BN после МА составляет 1–1,5 мкм (рис. 1, *b*).

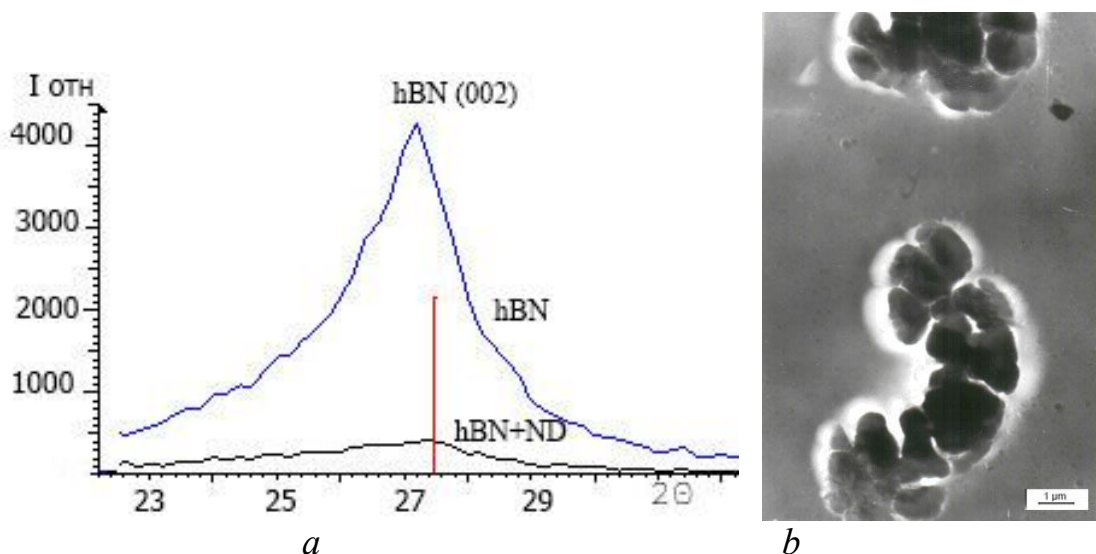


Рис. 1 – Участок дифрактограммы (*a*) и внешний вид (*b*) порошка аморфизированного BN после МА

Полученный результат показывает перспективность использования наноалмазов для стимулирования процесса аморфизации структуры hBN при его механоактивации в планетарной мельнице.

Литература

1. Витязь, П.А. Синтез и применение наноструктурных сверхтвёрдых материалов инструментального назначения / П.А. Витязь, В.Т. Сенють // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2015. – № 3. – С.60–76.
2. Соколов, А.Н. Исследование влияния механической активации гексагонального нитрида бора на фазовое превращение в кубическую модификацию / А.Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника, технология его изготовления и применения: сб. статей. – К. : ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2005.– Вып. 8. – С. 149–154.
3. Наноалмазы детонационного синтеза: получение и применение / Под общ. ред. П.А. Витязя. – Мн. : Беларус. навука, 2013. – 381 с.

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

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО НИТРИДА БОРА НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЕЧЕННОГО ПОД ДАВЛЕНИЕМ СПЛАВА ПГ-СР4

Основой получения и рационального применения наноматериалов являются необратимые фазовые превращения их компонентов при экстремальных условиях, высоких давлениях, температурах и др. Для управляемой кристаллизации наноматериалов особо важен анализ фазовых диаграмм состояния, согласно которому можно выбирать параметры, прежде всего режимы давления, температуры и их временные изменения. При этом необходимо привлечение системного подхода и современных математических методов [1].

В основном для получения конструкционных износостойких сплавов с мелкозернистой структурой, характеризующихся высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных свойств используют примесное модифицирование, ускоренное затвердевание и инвертирование микроструктуры заготовок, позволяющие увеличить механические и эксплуатационные свойства объемных материалов и покрытий.

Добавки микро- и наноструктурных тугоплавких частиц в качестве примесных модификаторов позволяют эффективно изменять структуру сплавов, способствует ее измельчению и повышению механических и триботехнических характеристик металломатричных композиционных материалов (КМ).

Установлено, что небольшие добавки (до 0,01% об.) нанопорошков тугоплавких соединений положительно влияют на качество отливок из стали и сплавов, повышается износостойкость, прочность, трещиностойкость, предел текучести и прочность на разрыв твердых сплавов [2]. В качестве модифицирующих добавок достаточно эффективно используются нанопорошки Al_2O_3 , SiC, TiN, TiCN, WC и др. Широкое применение для этих целей также получили углеродные наноматериалы, в т. ч. наноалмазы [3]. Применение в качестве модифи-

катора кубического BN, уступающего алмазу по твердости, но обладающего более высокой термостойкостью и химической инертностью [4], будет способствовать повышению физико-механических и эксплуатационных свойств разрабатываемых материалов.

Целью настоящей работы было изучение совместного влияния добавок наноструктурного кубического BN (сBN), давления и температуры на структуру и механические характеристики (микротвердость) спеченного под давлением самофлюсующегося сплава ПГ-СР4.

В качестве наполнителя применяли наноструктурный порошок BN, полученный на основе микропорошка гексагонального BN (hBN) после механоактивации, термобарического синтеза, дробления и химической очистки спеков. Порошок с размером частиц сBN в пределах 100–200 нм состоит из агрегатов до 1–2 мкм и наряду с кубическим BN содержит остаточный hBN. Удельная поверхность порошка составляет порядка 6 м²/г. Для экспериментов использовали порошок ПГ-СР4 класса М (ГОСТ 21448-75).

Термобарическую обработку реакционной шихты состава ПГ-СР4+сBN осуществляли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» при давлении до 2 ГПа и температуре 1050 °С в течение 20 с. Нагрев образцов производили путем прямого пропускания электрического тока через шихту. На полученных компактах были приготовлены шлифы, которые затем исследовали методами оптической микроскопии. Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3 алмазным индентором по шкале Виккерса с нагрузкой на индентор 50 г. Количество добавки порошка модификатора в шихте варьировали в пределах 1–5 мас. %.

В результате металлографических исследований поверхности шлифов КМ, полученных с добавкой 1,5 мас.% модификатора, было установлено, что структура КМ однородна, частицы сBN собраны в конгломераты размером 10–30 мкм и достаточно равномерно распределены в матрице. Результаты измерений показали, что в среднем значения микротвердости выросли на 18–32 % с 10–10,5 ГПа для образцов без модификатора до 11,8–13,7 ГПа для материала, полученного с добавкой наноструктурного сBN. Для сравнения были проведены эксперименты по спеканию при данных технологических параметрах сплава ПГ-СР4 с добавкой 1–5 мас.% микропорошков сBN зернистостью 60/40 мкм. Было установлено, что в этом случае микротвердость образцов составила 6,4–7,1 ГПа, что в 1,5–2 раза ниже, чем при введении наноструктурного BN.

Таким образом, результаты экспериментов показали перспективность использования наноструктурного cBN в качестве модификатора хромоникелевых сплавов.

Литература

1. Витязь, П.А. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / П.А. Витязь и др.; под общ. ред. П.А. Витязя и К.А. Солнцева. – Мн. : Белорус. навука, 2011. – 283 с.
2. Курганова, Ю.А. Конструкционные металломатричные композиционные материалы : уч. пособие / Ю.А. Курганова, А.Г. Колмаков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 141 с.
3. Витязь, П.А. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / П.А. Витязь и др.; под общ. ред. П.А. Витязя. – Мн. : Белорус. навука, 2011. – 522 с.
4. Голубев, А.С. Нитрид бора. Структура, свойства, получение / А.С. Голубев, А.В. Курдюмов, А.Н. Пилянкевич. – К. : Наук. думка, 1987. – 200 с.

Исследования поддержаны грантом БРФФИ-РФФИ по проекту T16P-176

Сергеев А.Н., Кутенов С.Н., Гвоздев А.Е.
Тульский государственный педагогический
университет им. Л.Н. Толстого, Тула,
Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия
Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ ДИФФУЗИОННО-ПОДВИЖНОГО ВОДОРОДА ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Водородное растрескивание (ВР), также известное как холодное растрескивание или замедленное разрушение является одной из наиболее распространенных проблем, возникающих при сварке конструкционных сталей. К настоящему времени установлено, что чувствительность к ВР сварных соединений конструкционных сталей определяется следующими факторами: чувствительностью микроструктуры к растрескиванию, уровнем остаточных напряжений и

концентрацией диффузионно-подвижного водорода (H_D). Уровень остаточных напряжений в сварном соединении трудно контролировать. В связи с этим осуществляют контроль за содержанием H_D в сварном соединении. Поскольку основным источником H_D в сварном соединении является общее содержание влаги в покрытии сварочного электрода, количество абсорбированного водорода может быть уменьшено путем отжига электродов [1, 2]. Однако покрытия электродов гигроскопичны и быстро впитывают влагу из окружающей среды. Кроме того, электроды с целлюлозным покрытием создают в сварочной дуге защищенный водородом газовый экран. Поэтому электроды с покрытием из целлюлозы не используются для сварки сталей, чувствительных к ВР.

Снижение скорости охлаждения сварного шва является наиболее практичным способом снижения риска ВР, поскольку оно обеспечивает больше времени для диффузии водорода из сварного шва. Низкая скорость охлаждения также способствует образованию ферритной и перлитной микроструктуры, которые менее восприимчивы к ВР, чем мартенсит или бейнит. Увеличение подачи сварочного тепла является одним из способов уменьшения скорости охлаждения сварного шва, однако это может отрицательно сказаться на механических свойствах сварного шва. Следовательно, самый простой и наиболее широко используемый метод снижения риска ВР – предварительный нагрев свариваемых деталей, так как он способствует снижению скорости охлаждения сварного шва.

Существует два метода, которые принимаются для оценки безопасных температур предварительного нагрева, которые должны использоваться при сварке сталей. Первый – метод контроля твердости, рассматривает возможность изменения микроструктуры или твердости зоны термического влияния от более восприимчивой к менее восприимчивой. Второй – метод управления количеством водорода, направлен на снижение количества H_D . Выбор подхода зависит от содержания углерода и химического состава стали. Влияние различных легирующих элементов на ВР включается в один фактор, известный как углеродный эквивалент (СЕ). В целом с увеличением СЕ повышается восприимчивость к ВР. При увеличении содержания легирующих элементов СЕ увеличивается, и стали даже с низким содержанием углерода, и высоким содержанием легирующих элементов будут восприимчивы к ВР.

В [3] была предложена диаграмма «содержание углерода – СЕ». Данная диаграмма располагает различные классы сталей в трех зонах. С ее помощью можно определить восприимчивость стали к ВР, а также выбрать метод, снижения чувствительности к ВР, в т.ч. за счет определённой температуры предварительного нагрева. Стали, попадающие в зону I, имеют наименьшую восприимчивость к ВР. Стали, попадающие в зону II, имеют высокое содержание углерода и низкий СЕ, и для них при выборе температуры предварительного нагрева используют метод контроля твердости. При применении данного метода необходимо учитывать следующие факторы: фактора: общую толщину, содержание водорода в сварочном электроде, углеродный эквивалент и входное давление сварки для достижения минимальной температуры предварительного нагрева, которая предотвратит растрескивание. Для сталей, находящихся в этой зоне твердость зоны термического влияния может изменяться путем изменения входного тепла и температуры предварительного нагрева. Для сталей, попадающих в зону III, СЕ и содержание углерода высоки, микроструктура сварки всегда восприимчива к ВР и применение предварительного нагрева или увеличение подачи тепла к сварному шву не может изменить микроструктуру. Следовательно, единственным вариантом избежать ВР является обеспечение содержания H_D в сварном шве ниже локальной критической концентрации.

Таким образом, для предотвращения риска ВР сварных соединений конструкционных сталей необходимо обеспечить контроль H_D в сварочных расходных материалах и обеспечить диффузию водорода из сварного соединения до момента охлаждения сварного соединения до температуры окружающей среды [4, 5].

Литература

1. Марченко, А.Е. Влияние технологических факторов изготовления низководородных электродов на содержание водорода в наплавленном металле / А.Е. Марченко, Н.В. Скорина // Автоматическая сварка. – 2013. – № 8. – С.14–25.
2. Завалинич, Д.А. Сравнительный анализ применения покрытых электродов при капитальном ремонте магистральных нефтепроводов / Д.А. Завалинич, В.М. Дзюба, В.Г. Лозовой, Д.Л. Сторожник // Автоматическая сварка. – 2006. – № 5. – С. 36–43.
3. Graville, B.A. Cold cracking in welds in HSLA steels / B.A. Graville // Proceed. of the Int. Conf. of Welding in HSLA Micro-alloyed Structural Steels. – Rome, Italy, 9–12 November 1976. – P. 85–101.

4. Сергеев, Н.Н. Механизмы водородного растрескивания металлов и сплавов. Часть 1. / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов и др. // Материаловедение. – 2018. – № 3. – С. 27–33.

5. Сергеев, Н.Н. Механизмы водородного растрескивания металлов и сплавов. Часть 2. / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, С.Н. Кутепов и др. // Материаловедение. – 2018. – № 4. – С. 20–29.

Сергеев В.П., Клинов В.Д., Бошицька Н.В.
Інститут проблем матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАН України,
Логінова О.Б., Кістерська Л.Д. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

НАНОСТРУКТУРОВАНЕ ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНО МОДИФІКОВАНЕ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА ДЛЯ ФІЛЬТРІВ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ

Очистка повітря та води від забруднювачів здійснюється за допомогою адсорбційних фільтрів. Максимальну фільтрацію здатні забезпечити комбіновані багатошарові фільтри, що містять окрім бар'єрного шару, шар з гранул активованого вугілля. Засмічений фільтр може стати бомбою уповільненої дії – бактерії, мікроскопічні міцеліальні гриби і дріжджі живуть і розмножуються всюди, де для цього є відповідні умови: волога, температура, живильне середовище. Дослідження щодо надання антибактеріальних властивостей матеріалам, що використовуються в фільтрах для очищення повітря та води, із використанням сучасних технологій отримання НЧ є перспективними та актуальними.

Одним з перспективних матеріалів для створення фільтрів для очистки води і повітря є створений в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України активований вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал [1]. Він характеризується контрольованим складом поверхні та високим співвідношенням поверхні до об'єму, тому за ефективністю до показників сорбції перевищують активоване вугілля.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України створено комбінований «мокро-сухий» метод диспергування метале-

вого катода локалізованим тліючим розрядом у вакуумі для виготовлення концентрованих нанофлюїдів – наносуспензій надчистих металів в рідких середовищах різної фізико-хімічної природи, що дозволяє створювати концентровані суспензії наносрібла у харчовому гліцерині [2]. Безперечними перевагами високочистого наносрібла, імплантованого фізичним способом у харчовій гліцерин і стабілізованого в ньому без найменших додаткових хімічних реагентів, є виключно низька токсичність для людини і тварин при високій бактерицидності та ефективних антивірусних властивостях щодо широкого спектру вірусів та бактерій, що дозволяє її ефективно застосовувати для модифікації поверхонь різної фізико-хімічної природи.

В роботі модифікування вуглецевої тканини НЧ срібла виконували методом адсорбції з розчину в ультразвуковій ванні. Після обробки ультразвуком (УЗ) зразок тканини вилучали з ванни і сушили в повітрі. Досліджено розподіл пор за розмірами вихідної вуглецевої тканини та обробленої водно-гліцериною суспензією з застосуванням ультразвуку визначали методом адсорбції азоту при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ з використанням приладу Quantachrome NovaWin2. Поверхню отриманих зразків досліджували методом растрової електронної мікроскопії та рентгенівського мікроаналізу. Характерний вигляд поверхні вихідного волокна та модифікованого НЧ срібла волокна наведено на рис. 1.

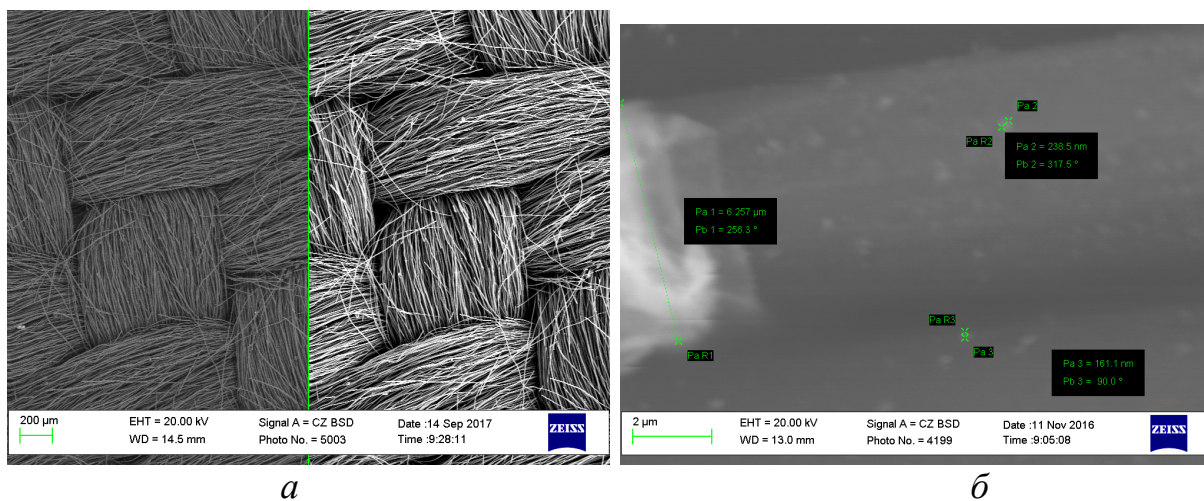


Рис. 1 – СЕМ зображення поверхні вихідного волокна (а) та модифікованого НЧ срібла (б)

Як видно з рис. 1, на поверхні тканини рівномірно розподілені агломерати срібла з розмірами 90–120, 250–300 нм. Очевидно, що це ті частинки (більшого розміру), які не змогли імплантуватися в порувату структуру матеріалу. Елементний склад в точках проведення рентгеноспектрального аналізу показав, що крім срібла на поверхні вуглецевого

волокна ідентифікуються також кремній (його небагато, що свідчить про чистоту вихідного волокна) та кисень. Наявність великої кількості кисню підтверджує, що питома поверхня вихідного волокна досить висока, що також підтверджують дані розподілу пор у зразках за розмірами. Отримані результати дозволяють стверджувати, що застосування УЗ обробки для нанесення НЧ срібла на вуглецеві волокна є доцільною. Вона дозволяє активно руйнувати агломерати наносрібла у розчинах, призводить до зміни площі пор і об'єму від їх радіусу в структурі волокон та збільшення їх питомої поверхні.

Литература

1. Кононко, І.В. Вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал та екологія. Застосування для захисту довкілля / І.В. Кононко, О.В. Щербицька, В.Д. Кліповта ін. // ENVIRONMENT & HEALTH. – 2014. – № 4. – С. 24–28.
2. Кістерска, Л.Д. Інноваційна технологія виробництва біосумісних нанодезінфектантів нового покоління / Л.Д. Кістерска, О.Б. Логінова, В.В. Садохин, В.П. Садохин // Вісник НАН України. – 2015. – №1. – С. 39–48.

Смирнов И.В., Лопата А.В. НТУ Украины
«КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,
Соловых Е.К. Центральноукраинский национальный
технический университет, Кропивницкий,
Лопата Л.А. Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Среди актуальных технологических и материаловедческих направлений современной науки и техники проблема инженерии поверхности является одной из наиболее значимых. Придание поверхностям деталей машин, рабочим органам, инструментам и другим конструкциям необходимых физических, химических и эксплуатационных свойств наиболее успешно реализуется при использовании подходов и технологических методов инженерии поверхности. На-

несением покрытий и модифицированием поверхностных слоев можно существенно улучшить работоспособность и надежность деталей и конструкций, придавать им новые, не достижимые другими методами, функциональные свойства. Перспективными являются методы инженерии поверхности, объединяющие нанесения покрытий с модификацией поверхности или их обработкой.

Без применения современных наукоемких технологий упрочняющих защитных покрытий (УЗП) экономика Украины не выйдет из кризиса острого дефицита металла, запасных частей, электроэнергии, топлива. Использование покрытий позволит увеличить срок эксплуатации деталей путем повышения их износо- и коррозионной стойкости, восстановления работоспособности, а также за счет замены дорогостоящих материалов более дешевыми материалами с покрытиями. Применение УЗП позволяет значительно уменьшить затраты легированных сталей и сплавов. При этом возможно создание изделий с уникальным сочетанием свойств, недостижимых при использовании традиционных конструкционных материалов. Материал покрытия выбирают исходя из материала основы и условий эксплуатации.

Существуют различные способы нанесения защитных покрытий. Многообразие видов нанесения покрытий объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность. Накопленный опыт показывает, что не существует универсальных способов, эффективных для упрочнения разнообразных деталей, так как каждый способ имеет свою область применения, свои преимущества и недостатки. Покрытия многофункциональны. Они могут регулировать теплопроводность, придавать поверхности коррозионную стойкость, износостойкость, специфические эксплуатационные свойства (электрические, оптические, антифрикционные и др.). Покрытия - перспективный способ защиты от воздействия высоких тепловых потоков и агрессивных сред. Создание покрытий обеспечивающих работоспособность машин и оборудования в экстремальных условиях эксплуатации (воздействия температур, изнашивания, агрессивных сред) было и остается актуальным. Применение покрытий связывают с реализацией принципиально нового подхода к созданию конструкционных материалов: прочность и несущая способность детали обеспечивается за счет материала основы, а сопротивление разупрочняющему воздействию от коррозии, изнашивания и др. факторов. Большинство способов нанесения УЗП можно рас-

смаатривать как альтернативные. Один и тот же материал покрытия может быть нанесен разными способами. Комплекс механических свойств и эксплуатационные характеристики детали с покрытием зависят от способа его нанесения.

Перспективными являются способы газотермического напыления (ГТН), существующий уровень технологии которых позволяет решать проблемы высокотемпературной коррозии и износа в промышленной энергетике, авиа-, и автостроении, турбостроении, нефтехимии, металлургии и в других отраслях промышленности. В исследованиях К.А. Ющенко, Ю.С. Борисова, Ю.А. Харламова, М.И. Черновола, В.С. Ивашка, М.А. Белоцерковского показано, что для создания износостойких покрытий целесообразно использовать более дешевые и простые в реализации методы ГТН, в частности, газопламенного (ГПН) и электродугового (ЭДН) напыления. Вместе с тем, при реализации этих методов недостаточная твердость, сравнительно низкая плотность и прочность сцепления покрытий, что требует применения дополнительных технологий их обработки путем пропитки, термической (ТО), химико-термической (ХТО) и механо термической (МТО) обработки. Обработка покрытий должна обеспечить их непроницаемость для коррозионных сред, повысить прочность сцепления покрытия с основой, твердость и износостойкость.

Переход экономики на путь интенсивного развития предусматривает использование способов обработки покрытий, которые реализуются с помощью совместного в различных сочетаниях воздействия во времени температурных, механических и химических факторов. Применение способов с минимально необходимым нагревом и малыми величинами припусков - задача первостепенной важности. В связи с этим значительный интерес представляет МТО. Одним из наиболее эффективных методов МТО является электроконтактная обработка (ЭКО). К ее достоинствам следует отнести: минимальные тепловложения и припуски на финишную обработку.

В работе дано обоснование выбора ЭКО для повышения свойств ГТН-покрытий и исследовано влияния ЭКО на физико-механические свойства напыленных покрытий (пористость, микротвердость, адгезионную прочность, износостойкость). Установлено, что ЭКО напыленных покрытий снижает их пористость до 2,08–3,03%, повышает микротвердость до 7,4–8,5 ГПа и износостойкость в 2–4 раза при оптимальных параметрах ЭКО (силе тока $I = 6,0$ кА, давлении $P = 30$ МПа, времени импульсов $t_{им}$ – пауз $t_{п} = 0,04$ с). Показано, что плавное

уменьшение микротвердости по толщине напыленных покрытий после ЭКО обеспечивает адгезионную прочность покрытий 180–200 МПа и минимизирует вероятность их отслоения. Методами количественного стереологического анализа, сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа показано, что высокая прочность сцепления покрытий при ЭКО напыленных покрытий обеспечивается за счет явления аномального массопереноса.

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

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА И ФОРМЫ ЗЕРЕН АЛМАЗА НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Достижение высокого качества обработанной поверхности, увеличение производительности алмазно-абразивного шлифования керамических материалов и повышение износостойкости абразивного инструмента из сверхтвердых материалов (СТМ) в значительной степени определяется размерной однородностью зернового состава и формой зерен порошка алмаза, который применяется при изготовлении инструмента. Особенно эффективно использовать порошки алмаза с оптимальной размерной однородностью там, где необходимо выполнять прецизионную обработку поверхностей изделий.

Одним из решений достижения более высокого качества обработанной поверхности и увеличения износостойкости алмазно-абразивного инструмента является повышение размерной однородности зернового состава и формы зерен порошка алмаза, который используется при изготовлении инструмента из сверхтвёрдых материалов. Особенно актуально использование порошков алмаза с повышенной размерной однородностью при обработке керамических шаров, где необходимо обеспечить не только точность формы (отклонение от сферичности поверхности), но и высокий класс чистоты, так как качество обработанной поверхности шлифовальным кругом в бóльшей степени зависит от однородности гранулометрического со-

става используемых порошков алмаза. Даже незначительное наличие в порошках зерен алмаза больших фракций существенно влияет на качество обработанной поверхности. Известно, что работу шлифования керамических материалов выполняют зерна основной фракции алмазного порошка. Поэтому одним из способов повышения эффективности шлифования керамических материалов алмазно-абразивными кругами является повышение процентного содержания зерен основной фракции. Доминирующим фактором, который влияет на изнашивание шлифовального круга, является зерновой состав, то есть степень однородности размеров основной фракции зерен и геометрия алмазных зерен. Для повышения качества обработанной поверхности и увеличения производительности шлифовального инструмента необходимо стремиться к максимальному увеличению основной фракции в зерновом составе порошков алмаза при высокой однородности этих порошков по линейным размерам.

Целью данных исследований было получение порошков алмаза разных зернистостей с высокой однородностью по линейным размерам, повышенным содержанием основной фракции зерен алмаза в зерновом составе порошков и установление влияния этих параметров на качество обработанной поверхности керамических материалов.

При решении поставленной задачи применяли микроскопический метод определения линейных размеров зерен. По этой методике за линейный размер зерна принимали полусумму длины и ширины проекции зерна. Таким образом, микроскопические измерения длины и ширины проекции зерен алмаза позволяли определять линейный размер зерна и его коэффициент формы K_{ϕ} , который оценивали по соотношению длины к ширине проекции зерна алмаза. Оценка однородности порошков синтетического алмаза по линейным размерам оценивалась коэффициентом однородности $K_{одн}$, который определяется отношением количества зерен со средним размером к общему количеству зерен, которые подвергались исследованию.

Для получения однородных порошков по линейным размерам были исследованы алмазные шлифпорошки марок АС6 и АС15 зернистостью, соответственно, 125/100 и 80/63. Сортировка этих порошков проводилась следующим образом. Сначала выполняли ситовую классификацию с получением узких зернистостей 125/115, 115/100 и 80/72, 72/63. Потом порошки узких зернистостей подвергались химической оваллизации зерен. После химической обработки порошки разделяли по форме на вибростоле. В полученных после

сортировки порошках алмаза определяли с помощью электронной микроскопии содержание основной фракции, коэффициенты формы и однородности по линейным размерам.

Из данных, приведенных в табл. 1 видно, что получение более узких диапазонов для зернистости 125/100 позволяет увеличить коэффициент однородности по линейным размерам с 24,4% в исходном состоянии до 35,4% для 125/115, а после химической обработки алмаза этой зернистости до 42,8%. Для зернистости 80/63 получены аналогичные результаты увеличения коэффициента однородности $K_{\text{одн}}$.

Таблица 1 – Свойства алмазных шлифпорошков марок АС6 зернистости 125/100 и АС15 зернистости 80/63 после ситовой классификации

Зернистость	Содержание основной фракции, %	$K_{\text{ф}}$, ус.ед.	$K_{\text{одн}}$, %
125/100 исход.	72	1,44	24,4
125/115	90	1,32	35,4
115/100	92	1,31	32,6
125/115+хим.обр.	95	1,26	42,8
80/63 исход.	72	1,42	14,7
80/72	92	1,40	39,6
72/63	92	1,39	37,5
72/63+хим.обр.	95	1,21	23,5

Установлено влияние коэффициента формы и содержания основной фракции алмазных шлифпорошков на эксплуатационные показатели работоспособности шлифовальных алмазных кругов: с ростом содержания основной фракции и коэффициента формы алмазных зерен износостойкость кругов возрастает, а шероховатость обработанной поверхности снижается (табл. 2).

Таким образом, для повышения коэффициента однородности порошка по линейным размерам рекомендуется проводить ситовую классификацию серийных порошков. Применение разделения порошков алмаза на вибростоле по форме зерен позволяет дополнительно увеличить однородность порошков по линейным размерам. По разработанной технологии получены алмазные шлифовальные порошки марки АС6 зернистостью 100/80 с содержанием основной фракции до 84,7% и с коэффициентом однородности по линейным размерам до 45,6%, то есть однородность порошков по линейным размерам возросла в 1,8 раза. Эксплуатационные испытания полу-

ченных порошков показали, что с увеличением содержания основной фракции и коэффициента однородности порошков по линейным размерам износостойкость кругов увеличивается в 1,4 раза, а шероховатость поверхности по параметру Ra снижается на 25%.

Таблица 2 – Влияние однородности и коэффициента формы алмазных шлифпорошков на работоспособность алмазно-абразивных инструментов и качество обработанной поверхности карбида бора

Марка и зернистость алмаза	Основная фракция, %	Коэффициент формы	Относительные затраты алмаза q_p , мг/г	Ra , мкм
АС6 100/80	73,1	1,3	5,02	0,16
	80,5	1,1	4,11	0,15
	84,7	1,2	3,58	0,12
АС6 80/63	72,1	1,3	3,84	0,11
	83,0	1,2	3,45	0,19

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

ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ РЕЗЦАМИ С АЛМАЗНО- ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Алюминиевые и медные сплавы широко используют в машиностроении при изготовлении приборов и механизмов. Одним из наиболее ответственных этапов изготовления деталей из цветных сплавов является чистовая токарная обработка. Перспективным направлением повышения эффективности чистовой обработки цветных сплавов является применение резцов с алмазно-твердосплавными пластинами (АТП) [1].

Цель настоящей работы – экспериментально исследовать влияние скорости резания на изменение температуры и составляющих силы резания при чистовом точении алюминиевого сплава АК6 и латуни Л80 резцами, оснащенными круглыми АТП.

Точение выполняли на высокоточном токарном станке ТПК-125ВМ со скоростями вращения шпинделя главного привода от 120

до 1800 об/мин. Поддачи $S = 0,05$ и $0,1$ мм/об. Глубина резания $t = 0,1$ мм. В качестве инструмента использовали сборной проходной резец, оснащенный механически закрепленной пластинкой АТП диаметром 7 мм на подложке из твердого сплава ВК15. Геометрия режущей кромки: передний угол 0° , задний угол -10° . Для измерения температуры резания в державку резца была встроена хромель-алюмелевая термопара, контактирующая с режущей вставкой. Использовали автоматизированную систему исследования процесса точения [2]. При определении температуры в зоне резания использовали градуировку резца с термопарой, описанную в работе [3]. На рис. 1 и 2 приведены зависимости влияния скорости резания v на температуру в зоне резания T при точении сплава алюминия и латуни при подачах $S = 0,05$ мм/об и $S = 0,1$ мм/об.

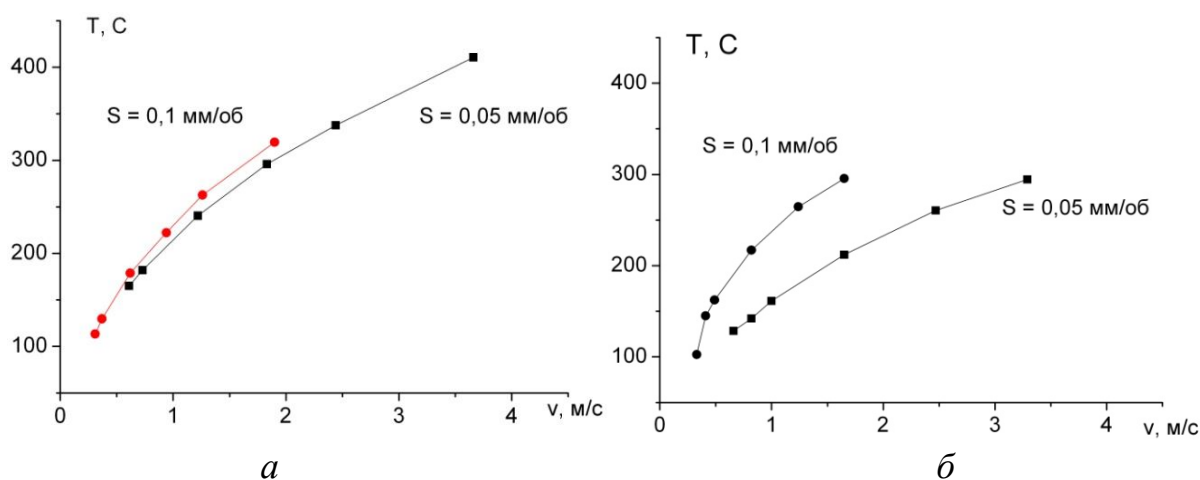


Рис. 1 – График изменения температуры в зоне резания T при обработке сплава алюминия (а) и латуни (б) в зависимости от скорости резания v

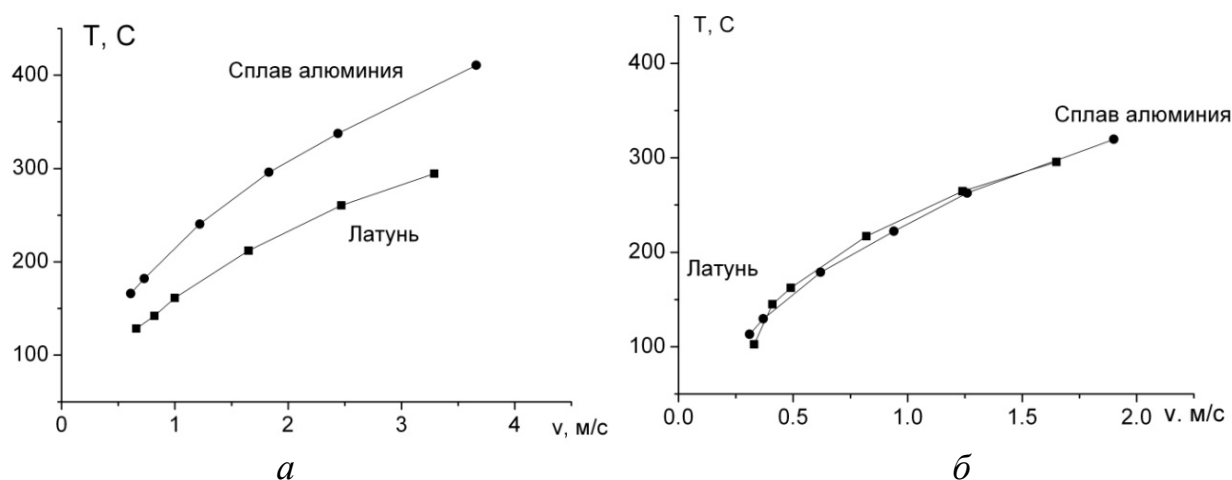


Рис. 2 – График изменения температуры в зоне резания T при обработке с подачей $S = 0,05$ мм/об (а) и $S = 0,05$ мм/об (б) в зависимости от скорости резания v

Из анализа графиков на рис. 1 и 2 следует, что:

1. При чистовом точении сплава алюминия с увеличением скорости резания v от 0,5 до 4,0 м/с ($S = 0,05$ мм/об) температура в зоне резания T нелинейно увеличивается от 150 до 400 °С, что безопасно для АТП.

2. При чистовом точении латуни с увеличением скорости резания v от 0,7 до 3,5 м/с ($S = 0,05$ мм/об) температура в зоне резания T нелинейно увеличивается от 110 до 270 °С.

3. Для сплава алюминия при одинаковых скоростях резания для подач $S = 0,1$ мм/об, температура в зоне резания T на 4–6% выше, чем при подаче $S = 0,05$ мм/об (рис. 1, а).

4. Для латуни при одинаковых скоростях резания для подач $S = 0,1$ мм/об, температура в зоне резания T на 28–35% выше, чем при подаче $S = 0,05$ мм/об (рис. 1, б).

5. При подаче $S = 0,05$ мм/об и одинаковых скоростях резания при точении сплава алюминия температура в зоне резания T на 25–30% выше, чем при точении латуни (рис. 2, а).

6. При подаче $S = 0,1$ мм/об во всем исследуемом диапазоне скоростей резания при точении сплавов алюминия и латуни температуры в зоне резания T совпадают (рис. 2, б).

7. Уменьшение подачи с 0,1 до 0,05 мм/об приводит к уменьшению температуры резания для сплава алюминия на 4–6%, а для латуни – на 25–35% во всем исследованном диапазоне скоростей резания.

Литература

1. Инструмент из сверхтвердых материалов / под ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М. Машиностроение, 2014. – 608 с.

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

3. Девин, Л.Н. Влияние скорости резания на температуру и силы при чистовом точении титанового сплава ВТ1-0 резцом с алмазно-твердосплавной пластиной / Л.Н. Девин, Н.Е. Стахнив, А.С. Анто-
нюк и др. // Сверхтв. мат. – 2019. – №. 2 – С. 65–73.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОГНЕУПОРОВ

Современные технологии производства огнеупоров характеризуются расширением использования различных сырьевых материалов, в том числе с высокой абразивностью и большой твердостью (более 6 по шкале Мооса).

Дробление и особенно тонкое измельчение сырьевых материалов огнеупорной промышленности является не только весьма энергоемкими технологическими операциями, но и операциями определяющими качество получаемого конечного готового продукта. Это связано с тем, что эксплуатационные характеристики огнеупоров, особенно безобжиговых огнеупоров и огнеупорных бетонов, определяются их структурой, характер которой в значительной степени зависит от гранулометрического состава и формы зерен используемых материалов. Предпочтение отдается материалам с изометричной (кубовидной) формой и узким зерновым составом, что позволяет получить сырьевые смеси с необходимой плотностью упаковки.

Наиболее перспективным, для получения таких материалов, является применение на последних стадиях измельчения дробилок и мельниц центробежно-ударного принципа действия производства ОАО «НПО Центр». В основе их работы лежит ударный способ измельчения с использованием центробежных сил для разгона частиц дробимого материала. Сущность данного способа заключается в разгоне во вращающемся ускорителе материала до критической скорости, выброса и разрушения его при ударе о преграду. В качестве преграды используется либо броня, либо сам материал.

Весьма распространенным в технологии огнеупоров является процесс тонкого измельчения. Однако широко используемые для помола различных материалов шаровые и стержневые мельницы характеризуются высокой материало- и энергоемкостью. Готовый продукт, получаемый в этих мельницах, характеризуется широким зерновым составом, а его частицы имеют окатанную форму. В то же время при изготовлении наполнителей для огнеупорных смесей необходимо, как указывалось выше, получение порошков узкой гранулометрии, с частицами, обладающими высокой физико-химической активностью. Решение этой задачи достигается использованием центробежно-ударных мельниц МЦ (рис. 1).

Измельчение в такой мельнице осуществляется в основном ударом при взаимодействии частицы с футеровкой корпуса. Вся система мельницы аспирируется вентилятором, который создает разрежение в зоне измельчения. Частицы материала, подхваченные воздушным потоком, уносятся в классификатор, расположенный над корпусом мельницы. Тонкие частицы, выделенные классификатором, направляются в систему осаждения и очистки, а крупные - возвращаются на доизмельчение. В этих мельницах за счет изменения скорости и направления движения воздушных потоков имеется возможность регулирования размера готовых частиц без остановки комплекса. Частицы материала измельчаются почти исключительно путем свободного удара о бронеплиты. Однако возможно и истирание, взаимное соударение частиц в воздушном потоке, при их движении в ускорителе и от ускорителя к бронеплите. Совокупность таких измельчающих воздействий сказывается на форме частиц получаемого порошка. Проведенный микроскопический анализ продукта измельчения алюминотермического шлака (рис. 2), применяемого для изготовления глиноземистых и высокоглиноземистых цементов, показал, что получаемые частицы обладают высокой дефектностью и более однородны по форме, что предотвращает их агрегацию.

Кроме того, полученный материал обладает узкой гранулометрией, т.е. является узкодисперсным (рис. 3). Следует отметить еще один аспект использования центробежно-ударных измельчителей. При ударном измельчении наблюдается так называемое «селективное измельчение». Разрушение частиц исходного материала происходит по граням спаянности на границе раздела фаз. Т.е. если частица представляет собой спекшийся агломерат, состоящий из металла и огнеупорного материала, то разрушение в первую очередь произойдет по границе их раздела, огнеупорный материал измельчится и вынесется в систему пылеосаждения.



Рис. 1 – Общий вид центробежно-ударного измельчительного комплекса

Кроме того, полученный материал обладает узкой гранулометрией, т.е. является узкодисперсным (рис. 3).

Следует отметить еще один аспект использования центробежно-ударных измельчителей. При ударном измельчении наблюдается так называемое «селективное измельчение». Разрушение частиц исходного материала происходит по граням спаянности на границе раздела фаз. Т.е. если частица представляет собой спекшийся агломерат, состоящий из металла и огнеупорного материала, то разрушение в первую очередь произойдет по границе их раздела, огнеупорный материал измельчится и вынесется в систему пылеосаждения.

дения, а металлические включения выпадут из мельницы в специальный сборный бункер недомола. Это дает возможность без применения магнитных сепараторов значительно уменьшить содержание металлических примесей в готовом продукте.

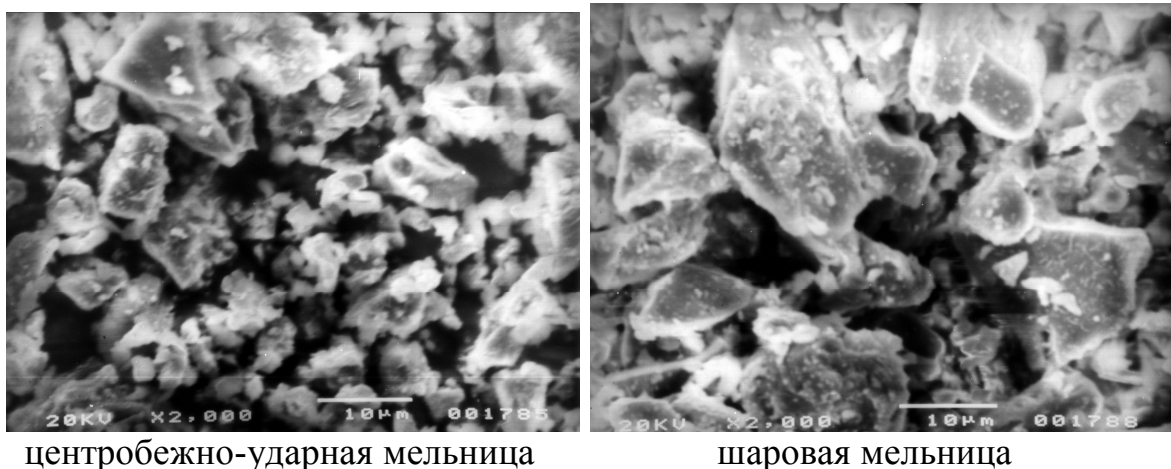


Рис. 2 – Частицы тонкоизмельченного материала (алюминотермический шлак) под микроскопом

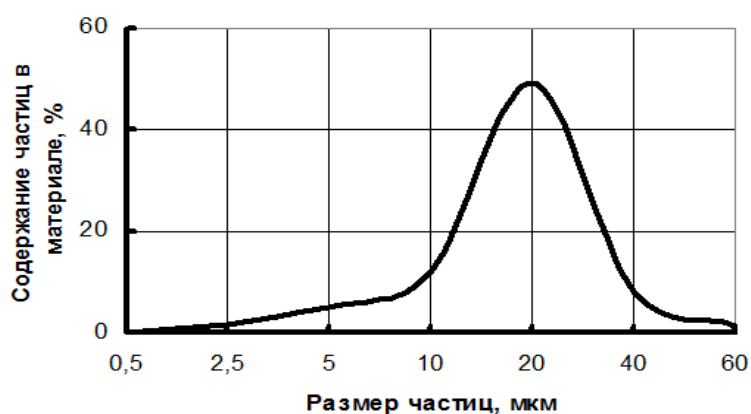


Рис. 3 – Зерновой состав алюминотермического шлака, полученного в центробежно-ударной мельнице

Кроме того, как показали проведенные исследования, в измельчительных комплексах КИ реализуется эффект механоактивации измельчаемого материала. Применительно к огнеупорам этот эффект проявляется в улучшении процесса спекания, что способствует повышению качества по-

лучаемых изделий. В общем, технология измельчения с использованием центробежно-ударной мельницы является энергосберегающей по сравнению с традиционной. Экономия удельных энергозатрат составляет от 10,5 до 30%.

Общая металлоемкость системы центробежного измельчения более чем в 3 раза меньше аналогичного показателя системы, включающей шаровую мельницу. Это связано с тем, что измельчение материала происходит сравнительно в небольшом объеме, и отсутствуют мелющие тела. Удельный уровень износа материалов центробежной мельницы (ускорителя частиц, отбойных плит) составляет до 0,15 кг/т, а материалов шаровой мельницы (мелющих тел,

бронеплит) – 1,1 кг/т. Менший рівень износа МЦ связан с иным способом измельчения (свободный удар), а также с отсутствием больших трущихся поверхностей.

Таким образом, оборудование ОАО «НПО Центр» для измельчения и классификации материалов позволяет осуществлять подготовку высококачественных компонентов для изготовления огнеупорных материалов при минимальных материальных и энергетических затратах.

Танцюра Г.І., Білоус О.І. Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

САМОВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА

Шліфування займає значне місце в металообробці. Знос шліфувального круга відбувається в наслідок циклічного механічного, теплового навантаження шліфувальних зерен. Періодичне навантаження кристалів призведе до циклічно змінного напруженого стану матеріалу, що їх оточує. Кількість циклів навантажень з'єднання абразивних зерен з матеріалом до руйнування залежить від сил навантаження, характеру циклічних їх змін. Руйнування поверхневого шару забезпечує появу на ній нових різальних кромок замість зношених. Забезпечення раціонального навантаження шліфувального інструменту та зносу різальних кромок абразивних зерен – актуальна науково-технічна задача.

Матеріал круга композитний. Усереднимо його механічні властивості за Фохтом. Розглянемо шліфувальний круг як пружний, ізотропний циліндр нерухомо приєднаний до оправки по внутрішньому циліндру. На зовнішню циліндричну поверхню круга діють рівномірно розподілені по ширині, на дузі малої довжини нормальна та дотична сили. За таких умов деформований стан круга – плоский. Зовнішній та внутрішній радіуси круга позначимо літерами r_0 та R . Віднесемо круг до полярної системи координат. Сформулюємо граничні умови:

а) по поверхні $r = r_0$

$$u_r = u_\theta = 0, \quad (1)$$

б) по поверхні $r = R$ для випадку нормального навантаження

$$R_r = \begin{cases} 1 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases}; \quad (2)$$

для випадку дотичного навантаження

$$R_\beta = \begin{cases} 1 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} \leq \beta \leq \frac{\delta}{2} \\ 0 & \text{коли } -\frac{\delta}{2} > \beta > \frac{\delta}{2} \end{cases}, \quad (3)$$

де δ – кут дуги контакту шліфувального круга з матеріалом.

Розподіл напружень в крузі визначимо з використанням функції напружень [1].

$$\begin{aligned} \phi(r, \beta) = & B_0 \beta + A \ln(r) + Br^2 \ln(r) + Cr^2 + (B_1 r^3 + C_1 r^{-1} + D_1 r \ln(r)) \cdot \\ & \cdot \cos(\beta) - \frac{2D_1}{1-\mu} r \beta \sin(\beta) + (A_m r^m + B_m r^{m+2} + C_m r^{-m} + D_m r^{-m+2}) \cdot \\ & \cdot \cos(m\beta) \end{aligned} \quad (4)$$

де $B_0, A, B, B_1, C_1, D_1, A_m, B_m, C_m, D_m$ – невідомі сталі; μ – коефіцієнт Пуассона; $m = 2, 3, \dots$ – ціле число.

Напруження для прийнятої функції.

$$\begin{aligned} Br(r, \beta) = & B_0 r^{-1} + (2B_1 r + 2C_1 r^{-3} + D_1 r^{-1}) \cdot \sin(\beta) - (A_m r^{m-2}(1-m) - \\ & - B_m r^m(1+m) + C_m r^{-m-2}(1+m) - D_m r^{-m}(1+m)) \cdot m \cdot \sin(m\beta); \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Rr(r, \beta) = & Ar^{-2} + B(2\ln(r) + 1) + 2Cr + (2B_1 r + 2C_1 r^{-3} + D_1 r^{-1}) \cdot \cos(\beta) + \\ & (A_m r^m(1-m) + B_m r^m(m+2-m^2) - C_m r^{-m-2}(m(1+m)) + \\ & + D_m r^{-m}(-m+2-m^2)) \cdot \cos(m\beta); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} B\beta(r, \beta) = & Ar^{-2} + B(2\ln(r) + 3) + 2Cr + (6B_1 r + 2C_1 r^{-3} + D_1 r^{-1}) \cdot \cos(\beta) + \\ & + (A_m r^{m-2}(m(m-1)) + B_m r^m(m+2)(m+1) + C_m r^{-m-2}m(m+1) + \\ & + D_m r^{-m}(m-2)(m-1)) \cdot \cos(m\beta); \end{aligned} \quad (7)$$

Аналіз напруженого стану показав, що нормальне навантаження зумовлює симетричний розподіл напружень, дотичне – проти симетричний. З урахуванням наведеного визначити напруження для симетричної та антисиметричної частини. У разі нормального навантаження в об'ємах матеріалу розташованих ближче по внутрішнього отвору в крузі різниця напружень зменшується, але залишаються не рівномірно розподіленими. При цьому максимальні нормальні колові напруження близькі за значеннями до відповідних нормальних радіальних напружень, дотичні значно (в п'ять разів) менші.

Інший характер розподіл напружень викликає дотичне навантаження. Воно призводить до появи антисиметричних колових нормальних напружень. Відповідно, і до напружень відриву кристалів абра-

зиви від матеріалу, в якому кристали розташовані. Максимальні значення таких напружень значно (понад ніж у три рази) перевищують значення максимальних дотичних напружень, обумовлених дією прикладених розподілених сил. Такі напруження, на нашу думку, більше за інші впливають на вирив кристалів з абразивного матеріалу.

Відомо, що умови руйнування матеріалів за змінних навантажень, їх поділяють на багато циклові та мало циклові навантаження. Кількість циклів взаємодії кристалів шліфувального круга з матеріалом до їхнього граничного зносу значно менша за 10^6 . Відповідно витривалість матеріалу має визначатися як для випадків з малою кількістю навантажень за встановленими залежностями. Вона, при дії симетрично змінних колових нормальних напружень має не суттєво перевищувати кількість циклів навантажень до досягнення граничного зносу різальних кромок кристалів.

Висновки. Дотичне навантаження циліндричної поверхні шліфувального круга призводить до появи напружень стискання та відриву. Такі напруження більше за інші впливають на вирив кристалів з матеріалу, що їх зв'язує. Малоциклова витривалість матеріалу, що утримує кристали в шліфувальному крузі, при дії симетрично змінних колових нормальних напружень має перевищувати кількість циклів за яких відбувається допустимий знос різальних кромок кристалів.

Література

1. Рекач, В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости : Уч. пособие для вузов / В.Г. Рекач. – М. : Высшая школа, 1977. –216 с.

Тимофєєв С.С., Букін Р.В. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЯК ФУНКЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ

Контроль якості – це функція менеджменту, процес забезпечення досягнення цілей організації за допомогою оцінки та аналізу результатів діяльності, оперативного втручання у виробничий процес і прийняття коригуючих дій. Основним завданням контролю є процес забезпечення досягнення цілей і місії організації. Діяльність керівників підприємств і вищих ланок управління, що встановлюють стандарти, норми і нормативи, які перевіряють і оцінюють відпові-

дність їм продукції і коригувальних робота виконавців. Необхідність контролю обумовлена наступними обставинами:

- потреба організації процесу виробництва відповідно до наявних резервами і ресурсами;
- вимоги споживачів до якості, стандарту і сертифікації продукції, що випускається;
- змінюються внутрішні і зовнішні умови виробництва, необхідність виявлення тенденцій з мінливого попиту і пропозиції продукції;
- формування бази даних для подальшого планування витрачання матеріальних та фінансових коштів, вдосконалення нормативних показників по праці;
- своєчасне втручання у виробничий процес при відхиленнях від прийнятих норм і нормативів і ін.

Контролю підлягає все, що бере пряму і опосередковану участь у продуктивній діяльності працівників. Безконтрольність породжує цілий ряд негативних наслідків. У будь-якій організації не повинно бути працівників, які вийшли з-під контролю, який би високий пост вони не займали, починаючи від президента, голови ради директорів, генерального директора і аж до рядових виконавців.

Контролю підлягають всі технічні і технологічні умови виробництва: будівлі, споруди, комунікації, машини, верстати, обладнання, прилади та інструменти, технічна і технологічна документація, сировина, комплектуючі вузли і деталі і т.д. Обов'язковою і систематичним повинен бути контроль фінансової діяльності підприємства, кадрових органів і всіх інших відділів і служб. Певною мірою контроль на підприємстві здійснюють усі працівники, кожен у сфері своєї компетенції це відділ технічного контролю (ВТК) і менеджери. У своїй роботі вони керуються поруч основних вимог.

1. Контроль повинен бути всеохоплюючим, але не дріб'язковим, що не настирливим, що не тотальним і не викликати у підлеглих почуття неприязні до контролюючих.

2. Контроль повинен бути ретельно спланований, в планах необхідно визначити пріоритети і чітко висловити стратегічну спрямованість контролю.

3. Контроль здійснюється не заради самого контролю або «підсидження» співробітників, а заради отримання результатів, важливих для поліпшення роботи або показників, зниження витрат виробництва і поліпшення якості продукції.

4. Контроль необхідно здійснювати своєчасно і ефективно, що має на увазі отримання відомостей про об'єкт або суб'єкт контролю до часу і місця, а також конкретні пропозиції щодо його підсумками.

5. Система контролю не повинна бути дорогою, не можна відволікати на його проведення велика кількість працівників від їх безпосередньої діяльності.

Менеджер, який здійснює контроль, повинен враховувати людський фактор. Він повинен прагнути до об'єктивності, доброзичливості, уникати скритності і піклуватися про поліпшення морально-психологічного клімату в колективі. Контролюючий завжди повинен пам'ятати, що краще за самих працівників даного відділу, цеху або служби справу ніхто не знає, тому важливо залучити на свою сторону всіх, що мають відношення до контролюваного питання.

Організовуючи контроль, менеджер повинен прагнути не заважати основній діяльності підприємства, якщо контроль не передбачає зупинки процесу виробництва. Перед менеджерами завжди стоїть завдання: як використовувати отримані дані і результати для підвищення ефективності роботи підприємства, зростання продуктивності праці і зниження витрат.

Тимофєєв С.С., Воскобойніков Д.Г. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ І КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Досягнення конкурентоспроможності залізничної продукції неможливо без управління її якістю. Залізнична продукція дуже науко-, метало- та енергоємна. Управління якістю багато в чому базується на стандартизації, що представляє собою нормативний спосіб управління. Її вплив на об'єкт здійснюється шляхом установлення норм і правил, оформлених у виді нормативних документів, що мають юридичну чинність.

Управління якістю продукції здійснюється на основі державних, міжнародних, галузевих стандартів і стандартів підприємств.

Із середини 1990-х років фахівці і практики за рубежом зв'язують сучасні методи менеджменту якості з методологією TQM (Total quality management) – загальним (усеохоплюючим, тотальним) менеджментом якості .

Стратегія якості в компанії (організації) повинна передбачати постійну, безупинну й особисту участь вищого керівництва (керівника компанії) у питаннях, зв'язаних з якістю. Таким чином, стратегія якості повинна базуватися на особистій участі вищого керівництва. Залученність керівництва в процес забезпечення якості поставлена на чолі найважливіших елементів, що складають базу стратегії TQM (рис. 1).

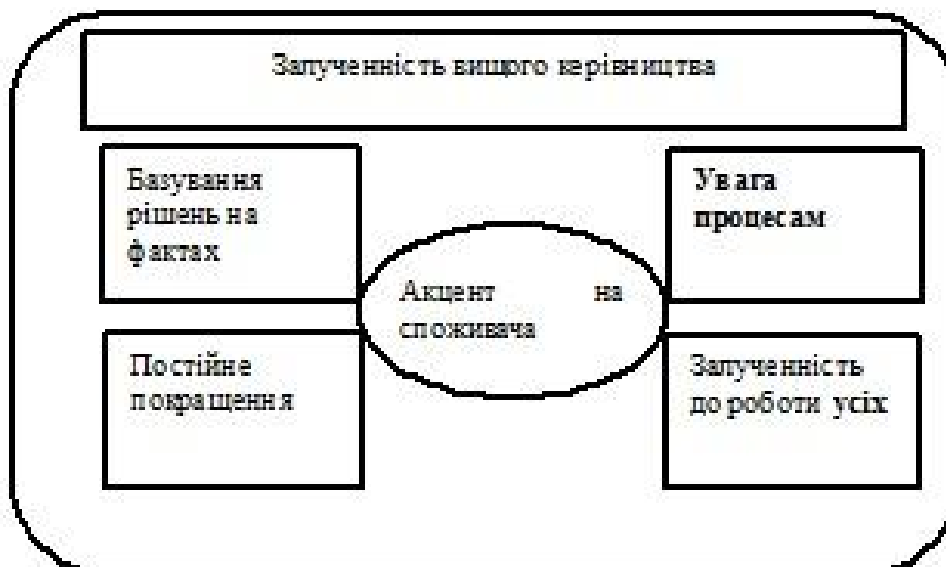


Рис. 1 – Найважливіші елементи TQM, що забезпечують успіх стратегії якості

З рис. 1 видно, що найбільш важливими елементами TQM є:

- фокусувати усю діяльність компанії на нестатки і побажання як зовнішніх, так і внутрішніх споживачів;
- забезпечувати можливості і реальну участь кожного в процесі досягнення головної мети – задовольняти запити споживача;
- фокусувати увагу на процесах, розглядаючи їх як оптимальну систему досягнення головної мети — максимізацію цінності продукту для споживача і мінімізацію його вартості як для споживача, так і виробника;
- постійно і безупинно поліпшувати якість продукту;
- базувати всі рішення компанії тільки на фактах, а не на інтуїції чи досвіді її працівників.

Система якості створюється і впроваджується як засіб, що забезпечує проведення визначеної політики і досягнення поставленої мети. Вона включає: забезпечення якості; управління якістю; поліпшення якості та створюється керівництвом підприємства як засіб

реалізації політики в області якості. У системі якості функціонують замовник (споживач) і постачальник (виготовлювач).

Оскільки основна мета управління тотальною якістю – це конкурентна перевага. В зв'язку з цим якість потрібно розглядати так, як його бачить покупець, а не як воно здається достатнім підприємством-виробником. Конкретний план впровадження управління тотальною якістю залежить від природи і відправної точки організації.

Розв'язання проблеми підвищення рівня конкурентоспроможності продукції машинобудівних підприємств вимагає рішення комплексу як техніко-організаційних, так і методологічних питань. Управління конкурентоспроможністю сучасного машинобудівного підприємства пов'язує до одного цілого окремі елементи його організаційно-економічного механізму.

*Тимофєєва Л.А., Колесник М.А. Український
державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна*

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО- ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Однією з найважливіших ланок у роботі залізниці є надійна робота рухомого складу, а саме деталей та вузлів циліндро-поршневої групи локомотиву, де забезпечення їх працездатності та довговічності в умовах інтенсивної експлуатації є невід'ємною задачею.

Найбільший відсоток серед цих несправностей займає циліндрична-поршнева група (ЦПГ), від її стану залежать важливі показники, необхідні для стабільної роботи двигуна внутрішнього згорання. В процесі роботи двигуна поршень з встановленими кільцями здійснює зворотньо-поступальний рух в середині гільзи, в результаті чого робоча поверхня гільзи (дзеркало циліндра) піддається поступовому зносу. Також зносу піддаються і самі компресійні і маслосборні кільця.

Стан ЦПГ впливає на показник компресії (тиску) в циліндрах двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Необхідна компресія дизельного

мотора забезпечує впевнений холодний та гарячий запуск двигуна, його потужність, екологічність та інші експлуатаційні показники.

Від справності ЦПГ також залежить витрата палива та моторного масла, а також тривалість терміну служби двигуна до його капітального ремонту. Ремонт ЦПГ двигуна має на увазі заміну маслосборників та компресійних кілець, розточення блоку циліндрів, встановлення нових поршней та шатунів, гільзовку блоку циліндрів. Статистичний аналіз показує, що найчастіше виходять з ладу гільзи циліндру. характерний знос яких спостерігається в верхній і та нижній мертвих точках (рис. 1). На рисунку знос має вигляд висипу, та виявляються на внутрішній поверхні вузли схоплювання.



Рис. 1 – Циліндро-поршнева група

Своєчасна діагностика виявлення несправностей і попередження руйнувань деталей циліндро-поршневої групи є актуальною. Існують способи неруйнівних методів контролю, які застосовуються в даний час та не в повній мірі можуть дати характеристику роботи деталей в процесі експлуатації.

Особливий інтерес має метод акустичної емісії який описаний багатьма вченими для визначення зносу пар тертя. Однак, даний метод для характеристики роботи деталей ЦПГ не застосовувався. Суть методу полягає у випромінюванні і реєстрації хвиль напружень при швидкій локальній перебудові структури матеріалу. Дефекти, які виникають і розвиваються в матеріалі в період експлуатації, викликають концентрацію деформацій. Якщо під час навантаження локальна деформація перенапружи, викликана присутністю дефекту, перевищує пороговий для емісії рівень, виникає акустична емісія. Чим вище деформація, викликана дефектом, тим вище рівень емісії і тим нижче рівень навантаження, при якому вона з'являється.

Був проведений дослідження по застосуванню даного методу для характеристик роботи деталей ЦПГ проводилися на зразках, імітуючи роботу гільзи-циліндра.

Сумарна енергія емісії є мірою небезпеки дефекту. Дефект, розташований в більш напруженому місці об'єкта, викликає більший рівень концентрації напружень і велику емісію, ніж аналогічний дефект, що знаходиться в менш навантаженому ділянці.

З точки зору структурної цілісності об'єкта дефект, що знаходиться в більш навантаженому ділянці більш небезпечний, ніж аналогічний дефект в менш навантаженому ділянці. Акустико-емісійні випробування дозволяють встановлювати цю різницю.

Тимофєєва Л.А., Титар Д.М. Український
державний університет залізничного транспорту,
Харків, Україна

ФАКТОРИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Конкурентоспроможність продукції – це її здатність бути привабливою в порівнянні з іншими виробами аналогічного виду і призначення завдяки краще відповідності своїх характеристик вимогам ринку і споживчим оцінками.

Виробнича діяльність будь-якого підприємства в сучасних умовах залежить від того, наскільки успішно вирішуються проблеми, пов'язані з конкурентоспроможністю продукції, що випускається. Тільки вирішивши цю проблему, підприємство може ефективно функціонувати і розвиватися в ринковому середовищі. Міцність становища підприємства на ринку визначається конкурентоспроможністю вироблених нею продуктів і можливостями вести конкурентну боротьбу. Боротьба за споживача – це, перш за все, боротьба за сферу впливу на ринку, а вона в свою чергу залежить від низької ціни і якості виробничої продукції, тобто від споживної вартості. У ході конкуренції встановлюється суспільна необхідність в даній продукції, дається оцінка її цінності.

Конкурентоспроможність відображає якісну сторону пропонованої продукції. Конкурентоспроможним є той товар, який вигідно ві-

дрізняється від аналогів-конкурентів за якісними та соціально-економічними ознаками. Параметри якості товару, як правило, визначаються виходячи з інтересів виробника, а параметри його конкурентоспроможності – з інтересів споживача. Якість продукції та її технічний рівень задаються технічними умовами виробництва.

Для оцінки конкурентоспроможності товару необхідно зіставити його з рівнем розвитку потреб. Виробництво і реалізація конкурентоспроможних товарів і послуг – узагальнюючий показник життєстійкості підприємства. Проте виробництво конкурентоспроможної продукції може бути ресурсоємним і високозатратним, що в умовах ринку неминуче призведе до зниження ефективності, зменшення прибутку, погіршення фінансового становища підприємства. У цьому випадку потрібне додаткове фінансування, що в результаті знижує конкурентоспроможність виробника. Застосування інтенсивних технологій, високий рівень механізації – це необхідні умови для отримання доходу від виробництва продукції.

Одним із головних чинників формування конкурентоспроможності продукції є максимальне використання конкурентних переваг підприємства. Другу групу чинників становлять показники якості товару, що визначаються чинними стандартами, нормами, рекомендаціями. До третьої групи факторів, що впливають на рівень конкурентоспроможності, відносять економічні показники, що формують собівартість і ціну товару.

Конкурентоспроможність товару базується на певних принципах, які полягають в тому, що при оцінці конкурентоспроможності товару повинна враховуватися сукупність критеріїв, що визначають особливості товарів-конкурентів. Відносність – припускає порівняльний характер конкурентоспроможності товару, коли обрані критерії одного товару порівнюються з критеріями іншого, товару, прийнятими за базові. Соціальна адресність визначається ступенем задоволення за допомогою товарів конкурентів потреб конкретних соціальних груп споживачів.

Управління конкурентоспроможністю продукції є багатогранним процесом, так як цей показник характеризує не тільки певний рівень технічної бази, технології, економіки, організації виробництва та культури, але й відповідний рівень професіоналізму та культури управлінських відносин. Досягнення необхідного рівня конкурентоспроможності пов'язано з постійним, динамічним процесом вдосконалення всіх складових її елементів, що є багатфакторними харак-

теристиками, які Соціальна адресність Комплексність Відносність необхідно розглядати як складні самостійні об'єкти управління, що сприяють вирішенню наступних завдань:

- 1) підвищення якості;
- 2) зниження витрат виробництва;
- 3) підвищення економічності та оперативності після продажного обслуговування;
- 4) отримання прибутку, узагальнюючого показника якості менеджменту та ефективності діяльності підприємства.

Сьогодні підприємства усвідомлюють необхідність маркетингового підходу до управління виробництвом і реалізації продукції, що забезпечує ринкову орієнтацію всієї управлінської діяльності.

Метою системи управління конкурентоспроможністю в процесі виробництва на сучасному етапі є організація випуску необхідної продукції необхідної якості в потрібний час і в необхідній кількості.

Основні функції системи управління конкурентоспроможністю продукції реалізуються через: оперативне регулювання обсягу і номенклатури виробництва, що допомагає гнучко пристосовуватися до змін попиту; концентрацію уваги на попереджувальних заходах щодо забезпечення якості в процесі вибору сировини, допоміжних матеріалів, технологій і т.д.; технологічний контроль по всіх стадіях виробництва, що виключає можливість надходження дефектної продукції (напівфабрикату) від одного циклу виробничого процесу до іншого, внаслідок чого підвищується якість готової продукції; активізацію виробничого персоналу та підвищення відповідальності за випуск якісної продукції шляхом впровадження нових форм організації праці та стимулювання; постійне навчання персоналу.

Управляти конкурентоспроможністю – значить забезпечувати оптимальне співвідношення названих складових, спрямовувати основні зусилля на вирішення наступних завдань: підвищення якості продукції, зниження витрат виробництва, підвищення економічності та рівня обслуговування. Рушійною силою конкуренції є стимул до нововведень.

Ульянчик Н.В., Коломієць В.В. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
Логінова О.Б., Кістерська Л.Д. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

СТВОРЕННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ІМПЛАНТАТАХ ІЗ БІОАКТИВНИМ ПОКРИТТЯМ З КАЛЬЦІЙФОСФАТНОЇ КЕРАМІКИ

Створення новітніх біосумісних матеріалів біомедичного призначення для тривалого функціонування в контакті з середовищами живого організму, а також розширення можливостей хірургії кісткової тканини є одним з провідних напрямків сучасного матеріалознавства [1]. Для відновлення функцій кісток, які несуть значне навантаження (суглоби, хребці, кістки черепа та щелеп) ефективним є використання комбінації з титанових сплавів та біоактивної кераміки на базі гідроксиапатиту (ГАП), що дає змогу поєднати толерантні механічні властивості сплавів титану та високу біосумісність біоактивної кераміки.

Зважаючи ж на те, що при імплантації існує великий ризик інфікування ран, при операціях використовуються антибіотики, які пригнічують репаративні процеси, проте не завжди можуть повною мірою забезпечити антибактеріальний вплив через нечутливість бактерій до конкретного антибіотика чи його несприйняття організмом. Відповідно, новітнім напрямком у розвитку біоматеріалів для пластики кісткової тканини є створення покриттів на металевих імплантатах із кальційфосфатних сполук багатофункціонального призначення, що мають антибактеріальну поверхню та характеризуються параметрами, необхідними для надійної інтеграції з кістковою тканиною [2].

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України розроблено комбінований «моро-сухий» метод диспергування металевого катода локалізованим тліючим розрядом у вакуумі. Метод дозволяє наносити наночастинки (НЧ) електропровідних матеріалів на тверді поверхні різної фізико-хімічної природи або ж у єдиному технологічному циклі цим самим потоком імплантувати їх в обрану основу (рідину) і виробляти концентровані нанофлюїди – наносуспензії різних металів [3]. Саме тому вивчення закономірностей інкапсуляції НЧ срібла, отриманих методом іонно-плазмового дис-

пергування, на кісткових імплантатах із кальційфосфатної кераміки задля створення перспективних у практичному використанні матеріалів з унікальними бактерицидними властивостями є актуальною задачею.

В роботі методами електронної мікроскопії проведено дослідження НЧ срібла, безпосередньо нанесених на поверхню ГАП плазмовим диспергуванням у вакуумі. Вивчено бактерицидну активність наносрібла на кісткових імплантатах щодо патогенів *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*. Встановлено, що нанесення НЧ срібла методом плазмового диспергування у вакуумі на покриття з гідроксиапатиту чинить антибактеріальний вплив на всі досліджені тест-культури мікроорганізмів.

На рис. 1 наведено СЕМ-зображення НЧ срібла на поверхні покриття з ГАП та розподіл НЧ за розмірами. За даними рентгеноспектрального аналізу, при похибці 0,17% (ваг.) у місцях, де спостерігається наявність срібла на поверхні покриття, його налічується від 1 до 18% (ваг.) Криві розподілу елементів свідчать також про збереження в покритті співвідношення Ca/P, та нерівномірний розподіл кисню й вуглецю на його поверхні.

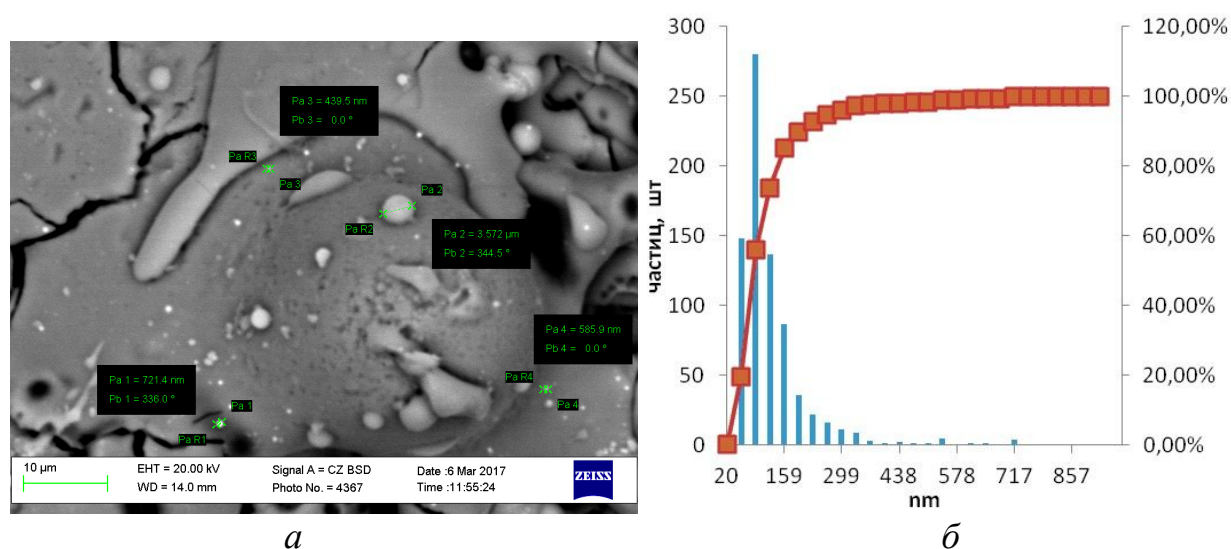


Рис. 1 – СЕМ-зображення НЧ срібла на поверхні покриття з ГАП із позначенням розмірів частинок (а) та розподіл НЧ за розмірами (б)

Литература

1. Уварова, І.В. Наноматеріали медичного призначення / І.В. Уварова, П.П. Горбик, С.В. Горобець та ін. – К., 2014. – 416 с.
2. Ульянович, Н.В. Нові біоматеріали для відновлення кісткової тканини та функції пошкодженого органу при обширних травмах

опорно-рухового апарату / Н.В. Ульянович, Л.Д. Кулак, С.О. Фірстов, М.М. Кузьменко // Мат. інф.-ком. заходу «Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України», 22–23 вересня 2015 р. – К., 2015. – С. 129–131.

3. Кістерска, Л.Д. Інноваційна технологія виробництва біосумісних нанодезінфектантів нового покоління / Л.Д. Кістерска, О.Б. Логінова, В.В. Садохин, В.П. Садохин // Вісник НАН України. – 2015. – №1. – С. 39–48.

Федченко І.І., Цап О.І. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ, ЯК МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ

Останні роки відзначені безпрецедентним зростанням уваги до проблеми якості, що обумовлено конкурентною боротьбою в країнах з розвиненою ринковою економікою виникла необхідність розробки програм підвищення якості продукції та послуг. В зв'язку з цим необхідність мати об'єктивні показники для оцінки здатності підприємств та виробляти продукцію з якісними характеристиками, які повинні підтверджуватися сертифікатом відповідності продукції є важливим.

У комплексній системі управління якістю продукції використовуються статистичні методи контролю які відносяться до найбільш прогресивних. Вони засновані на застосуванні методів математичної статистики до систематичного контролю за якістю виробів і станом технологічного процесу з метою підтримки його стійкості і забезпечення заданого рівня якості продукції, що випускається.

Статистичні методи контролю виробництва та якості продукції (послуг) мають ряд переваг перед іншими методами:

- 1) є профілактичними;
- 2) дозволяють у багатьох випадках обґрунтовано перейти до вибіркового контролю і тим самим знизити трудомісткість контрольних операцій;
- 3) створюють умови для наочного зображення динаміки зміни якості продукції і налаштованості процесу виробництва, що дозволяє

своєчасно вживати заходів до запобігання браку не тільки контролерам, а й працівникам цеху - робочим, бригадирам, технологам, наладчикам, майстрам.

Статистичні методи управління якістю продукції (послуг) припускають:

- 1) аналіз технологічного процесу з метою приведення його до необхідної налаштованості, точності і статистично стійкого стану;
- 2) поточний контроль з метою регулювання та підтримки процесу в стані, що забезпечує задані якісні параметри;
- 3) вибірковий статистичний приймальний контроль якості готової продукції.

При всій своїй простоті ці методи дозволяють зберегти зв'язок із статистикою і дають можливість професіоналам користуватися результатами цих методів і при необхідності вдосконалювати їх. До статистичних методів відносяться сім інструментів контролю якості:

1. контрольний листок;
2. гістограма;
3. діаграма розкиду;
4. діаграма Парето;
5. стратифікація (розшарування);
6. діаграма Ісікава (причинно-наслідковий діаграма);
7. контрольна карта.

Ці методи можна розглядати і як окремі інструменти, і як систему методів (різну в різних обставинах). Послідовність застосування семи методів може бути різною в залежності від мети, яка поставлена перед системою. Впровадження семи інструментів контролю якості має починатися з навчання цим методам усіх учасників процесу.

Статистичне мислення необхідно для кожного учасника процесу, а для цього необхідно знати статистичні методи, які за рахунок своєї простоти, досягнутої в семи інструментах контролю якості, доступні для всіх. Кожен службовець компанії або організації, використовуючи статистичні методи для аналізу і контролю процесів, тим самим сприяє підвищенню якості, ефективності виробництва і зниження витрат.

Статистичні методи – це той засіб, який необхідно вивчати, щоб впровадити управління якістю. Вони – найбільш важлива складова комплексної системи контролю загального управління якістю (TQM).

Говорячи про семи простих статистичних методах контролю якості, слід підкреслити, що це інструменти пізнання, а не інстру-

менти управління. Основне їх призначення – контроль процесу, що протікає і надання учаснику процесу фактів для коригування та поліпшення процесу. Знання і застосування на практиці семи інструментів контролю якості лежать в основі одного з найважливіших вимог TQM - постійного самоконтролю.

Статистичні методи контролю якості в даний час застосовуються не тільки у виробництві, але і в плануванні, проектуванні, маркетингу, матеріально-технічному постачанні і т.д. Поза всяким сумнівом, статистичні методи служать потужним засобом не тільки отримання об'єктивної інформації, а й пізнання, в тому числі реальних природних законів.

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

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Среди большого разнообразия методов инженерии поверхности особое место занимают методы газотермического напыления (ГТНП) – газопламенное (ГПН), высокоскоростное газопламенное (ВГПН), электродуговое (ЭДМ), плазменное (ПН), детонационно-газовое (ДГН) и др. Большое разнообразие способов ГТНП, их разновидностей и комбинаций, оборудования, специальных материалов, рабочих газов, технологических процессов напыления и смежных операций (подготовки поверхности, размерной и специальной обработки покрытий), возможность варьирования технологических режимов и пр. приводят к довольно широкому диапазону свойств получаемых покрытий.

Существует потребность в создании надежных технологических процессов получения газотермических покрытий (ГТП), обеспечивающих достижение требуемых параметров качества и их эксплуатационных свойств, а, следовательно, как высокой эксплуатационной надежности покрытий, так и напыляемых изделий в целом.

Недопустимые отказы ГТП являются следствием несовершенства технологического процесса и технологической надежности применяемого оборудования.

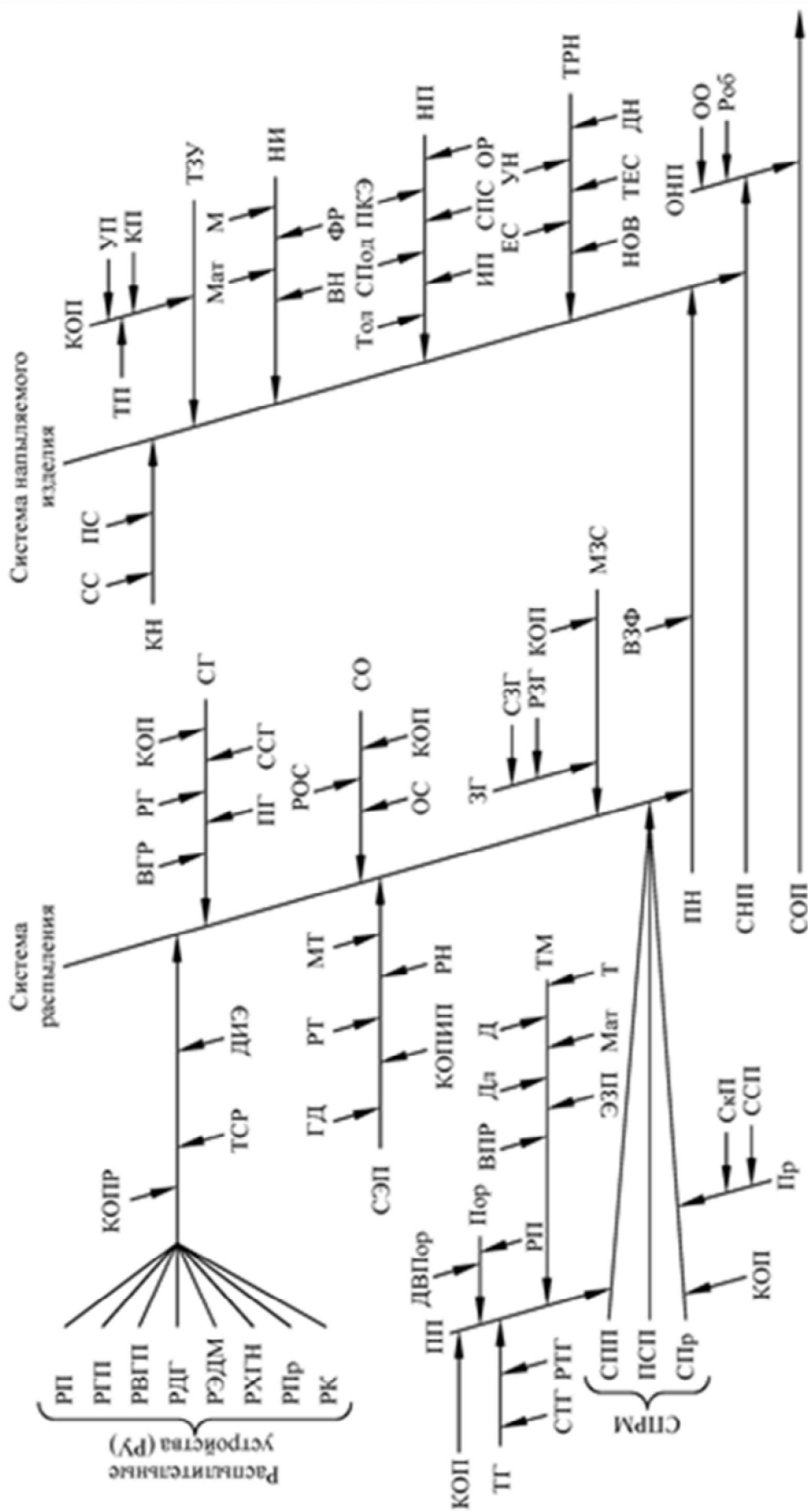


Рис. 1 – Структурная схема получения газотермического покрытия, учитывающая все его этапы его получения и основных явлений и факторов, влияющих на их протекание и свойства покрытия

Эти отказы могут быть связаны с рядом причин, которые можно подразделить на ряд групп: 1 – ошибки и неудачные технические решения при проектировании покрытий и изделий с ними, регламентации технических условий на их параметры; 2 – недостаточные уровень и надежность технологических процессов (ТП) получения покрытия, в том числе на всех операциях пред-напылительной и после-напылительной обработки; 3 – недостаточный учет влияния остаточных и побочных явлений, связанных с технологическими процессами как изготовления изделия в целом, так и получения покрытия, сборочных процессов и эксплуатации. Структурная схема получения газотермического покрытия, учитывающая все его этапы его получения и основных явлений и факторов, влияющих на их протекание и свойства покрытия, представлена на рис. 1.

Эта схема позволяет проследить все этапы и операции технологического процесса получения покрытий, а также более обоснованно подходить к выбору и проектированию оборудования и технологии получения покрытий с требуемыми свойствами. Неудачный опыт применения газотермических покрытий часто связан именно с недостаточным анализом всего их жизненного цикла. В этой схеме использованы следующие обозначения: ВГР – особенности ввода газов в распылитель; ВЗФ – воздействие на зону формирования покрытия; ВН – воздействие при напылении; ВПР – особенности ввода порошка в распылитель; ГД – особенности горения дуги; Д – диаметр; ДВПор – дополнительное воздействие на порошок; ДИЭ – дополнительный источник энергии; Дл – длина; ДН – дистанция напыления; ЕС – количество проходов (единичных слоев); ЗГ – защитный газ; ИП – изоляция поверхностей, не подлежащих напылению; КН – камера напыления; КОП – конструктивные особенности и параметры; КОПИП – конструктивные особенности и параметры источника питания дуги; КОПР – конструктивные особенности и параметры распылителя; КП – кинематические параметры; РК – комбинированные распылители; М – масса; Мат – материал; МЗС – местная защита струи; МТ – модуляция тока; НИ – напыляемое изделие; НОВ – нагрев, охлаждение и другие воздействия; НП – напыляемая поверхность; ОНП – обработка напыленного покрытия; ОО – операции обработки; ОР – относительное расположение; ОС – охлаждающая среда и ее состояние на входе; ПГ – подготовка газов; ПКЭ – вид и поверхностные конструктивные элементы; ПН – пятно напыления; Пор – порошок; ПП – порошковый питатель; Пр – про-

волока; ПС – параметры среды; ПСП – прочие; РВГП – распылитель высокоскоростной газопламенный; РГ – расход газов; РГП – газопламенный распылитель; РДГ – детонационно-газовый распылитель; РЗГ – расход ЗГ; РН – диапазон рабочего напряжения; Роб – режимы обработки; РОС – расход охлаждающей среды; РП – плазматрон; РПор – расход Пор; РПр – прочие виды распылителей; РТ – диапазон рабочего тока; РТГ – расход ТГ; РУ – распылительные устройства; РХГН – распылитель холодного газодинамического напыления; РЭДМ – электродуговой металлатор; СГ – система газопитания; СЗГ – состав ЗГ; СкП – скорость подачи; СНП – свойства напыленного покрытия; СО – система охлаждения; СОП – свойства обработанного покрытия; СПП – система подачи порошка; СПод – способ подготовки; СПр – система подачи проволоки; СПРМ – системы подачи распыляемого материала; СПС – свойства поверхностного слоя; СС – состав среды; ССГ – состав и свойства газов; ССП – состав и свойства проволоки; СТГ – состав ТГ; СЭП – система энергопитания плазменных и электродуговых распылителей; УН – угол напыления; УП – установочное приспособление; Т – траектория; ТГ – транспортирующий газ; ТЕС – толщина единичных слоев; ТЗУ – транспортно-загрузочное устройство; ТМ – транспортирующая магистраль; Тол – толщина покрытия; ТРН – режимы напыления; ТП – траектория перемещения; ТСП – техническое состояние распылителя; ФР – форма и размеры; ЭЗП – электростатическая зарядка порошка.

В системе формирования структуры и свойств ГТП можно выделить три основные подсистемы: подсистема производства исходных материалов для ГТП (в данной схеме не рассматривается); подсистема напыления; подсистема напыляемого изделия.

С позиций системного анализа изучение технологических процессов следует проводить последовательно по этапам взаимодействующих самостоятельных систем с использованием выходов предшествующих в качестве входов последующих. К этим системам относятся:

- Система напыления, включающая следующие подсистемы: распылительные устройства (РУ); система газопитания (СГ); система мониторинга технического состояния распылителя (ТСП); система охлаждения (СО); система энергопитания (СЭП); системы подачи распыляемого материала (СПРМ); местная защита струи (МЗС). Выходом является участок покрытия, получаемый при взаимодей-

ствии напылительной струи с поверхностью неподвижного изделия, называемый пятном напыления (ПН).

- Система напыляемого изделия (СНИ) в качестве подсистем включает: камеру напыления (КН); транспортно-загрузочное устройство (ТЗУ); напыляемое изделие (НИ); напыляемую поверхность (НП); режимы напыления (ТРН). Выходом являются комплекс свойств напыленного покрытия (СНП).

- Система обработки напыленного покрытия (ОНП) включает подсистемы: операции обработки (ОО); режимы обработки (РОБ). Выходом являются свойства обработанного покрытия (СОП) и изделия в целом.

Таким образом, количество факторов, влияющих на формирование газотермических покрытий, даже в рамках отдельных подсистем, чрезвычайно велико, что существенно затрудняет возможность создания математических моделей и планирование технологических экспериментов. Однако тщательный анализ современных научных достижений и производственного опыта способствуют оптимальному разделению факторов на традиционные группы: 1 – контролируемые и управляемые; 2 – контролируемые, но неуправляемые; 3 – неконтролируемые и неуправляемые. Для решения цели и задач НИОКР это позволяет уточнить содержание проводимых работ, а при планировании экспериментов и разработке математических моделей способствует выбору определяющих факторов, и исключения не оказывающих существенного влияния.

Выводы. Высокая наукоемкость технологий газотермического напыления для получения покрытий требуемого качества требует обеспечения надлежащего контроля за большим количеством параметров как непосредственно процесса напыления и используемых материалов, так и надежности работы основного и вспомогательного оборудования. Поэтому необходима разработка основ теории и практики обеспечения надежности технологических процессов получения газотермических покрытий с учетом технологической наследственности на всех этапах их производства.

ТРИБОЛОГИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В инженерии поверхности важную роль играют технологии получения покрытий (ТПП) при упрочнении и восстановлении деталей. Одними из наиболее распространенных являются ТПП триботехнического назначения. Для анализа процессов в парах трения используют модели трибологических систем (ТС) [1]. Такие модели характеризуются: деталями и их свойствами; связями между деталями ТС; входом и выходом ТС; функциональными характеристиками ТС (соотношение вход-выход). Наличие покрытий на поверхностях трения обуславливает целесообразность корректировки ТС деталей, а также анализ протекающих процессов по траектории

$$O - OM1 - P31 - PK1 - CM - OM2 - O,$$

или

$$O - OM1 - P31 - PK1 - CM - PK2 - P32 - OM2 - O,$$

где O – окружающая среда; $OM1$ и $OM2$ – основные материалы деталей; $P31$ и $P32$ – переходные зоны между основными материалами деталей и покрытиями; $PK1$ и $PK2$ – покрытия; CM – смазочный материал.

Наличие покрытий на одной или обеих поверхностях трения изменяет взаимодействие между деталями пары трения. Это касается прежде всего явлений на поверхностях материалов из-за различия в свойствах материалов – адгезии, адсорбции, хемосорбции, окисления, коррозии, диффузии и др. Во-вторых, покрытия влияют на упругие и пластические деформации, площади контакта, тепловые процессы при трении, механизмы разрушения поверхностей трения и пр. Цель данной работы состоит в обобщении работ по трибологии защитных покрытий, получаемых преимущественно методами газотермического напыления.

Таким образом, наличие покрытий на поверхностях трения влияет на процессы, обычно протекающие в трибологической системе, а также требует необходимость учета процессов в зоне контакта покрытия с основным материалом (ОМ) деталей. На контактное взаимодействие деталей с покрытиями дополнительно влияют: 1. твердость и модуль упругости основного материала и покрытия, а также их соотношение; 2. структура и свойства покрытия; 3. толщина по-

крытия; 4. состав и структура границы раздела ПК-ОМ; 5. адгезионная и когезионная прочность покрытий. Проблемы трибологии покрытий следует рассматривать на макро-, микро- и наноуровнях.

Контакт деталей с покрытиями. По мере увеличения толщины покрытий и относительного соотношения твердости ОМ и ПК возрастает их влияние на макро-контакт деталей пары трения. При неудачном подборе этих параметров возможно развитие нежелательных контактных деформаций и даже локальных повреждений покрытия. При высокой твердости трущихся деталей нанесение тонких пластичных покрытий способствует росту фактической площади контакта и уменьшению трения. При конструктивном оформлении узлов трения использование ПК позволяет расширить области использования прямых и обратных пар трения. В прямых парах трения использование твердых покрытий на мягкой поверхности влияет на развитие макро-контакта в зависимости от толщины покрытия. С увеличением толщины покрытия увеличивается его несущая способность, деформация ОМ снижается и трение уменьшается, механизм которого по мере увеличения толщины покрытия приближается к трению двух твердых поверхностей. При тонком покрытии снижение деформации ОМ и трения незначительно. Поверхностный слой ОМ может испытывать как упругую, так и пластическую деформацию, которая может привести к повреждению или отслаиванию покрытия.

Контакт шероховатых поверхностей с покрытиями. Особенности взаимодействия таких поверхностей с мягкими покрытиями зависят от толщины покрытия и высоты микронеровностей твердого контртела. При толщине ПК намного превышающей высоту выступов шероховатости ОМ влиянием шероховатости ОМ на трение можно пренебречь. Влияние будет оказывать пропахивание мягкого покрытия неровностями контртела. При трении двух твердых тел с тонким мягким покрытием (с толщиной сопоставимой с высотой микровыступов) будет проявляться влияние шероховатости ОМ под покрытием. В прямых парах трения увеличение толщины твердого покрытия на мягкой поверхности уменьшает площадь макро-контакта и количество площадок фактического контакта. При тонком твердом покрытии мягкая поверхность испытывает упругую или пластическую деформацию, площадь макро-контакта и количество фактических площадок фактического контакта увеличиваются, соответственно уменьшается фактическое давление.

Трение с абразивными частицами в контакте деталей с покрытиями. Влияние свободных твердых частиц зависит от: размера, твердости и прочности абразивных частиц; толщины покрытия и шероховатости ОМ; соотношения твердости покрытия и ОМ. Частицы с диаметром значительно меньше толщины мягкого покрытия внедряются и поглощаются покрытием и затем не оказывают существенного влияния на трение. В случае тонких мягких покрытий частицы с размером близким к толщине покрытия улавливаются последним и оказывают значительное влияние на трение. Интенсивность этого влияния зависит от соотношения твердости частиц, покрытия и ОМ.

Влияние условий контакта на изнашивание деталей с покрытиями. Механизмы изнашивания зависят от сочетания параметров – величины и соотношения твердости покрытия и ОМ; толщины покрытия; шероховатости поверхностей трения; параметров абразивных частиц в контакте пары трения. Пластической деформации (ПД) подвергаются толстые мягкие покрытия на твердых ОМ. На интенсивность изнашивания ПД влияют геометрия контакта, шероховатость контртела и наличие в контакте пары трения абразивных частиц.

Адгезионное и усталостное виды изнашивания проявляются при трении в контакте как тонкого мягкого покрытия на твердом ОМ, так и твердого толстого покрытия на пластичной основе с твердым контртелом. Несущая способность тонкого мягкого покрытия возрастает с уменьшением его толщины, при этом снижается фактическая площадь контакта и повышается сопротивление адгезионному изнашиванию. Тонкие мягкие покрытия повышают износостойкость в контакте двух твердых деталей. Мягкие тонкие покрытия способствуют росту износостойкости твердых ОМ, защищая их от пластической деформации и образования микротрещин. Мягкие тонкие покрытия также уменьшают вероятность изнашивания отслаиванием частиц износа поверхностного слоя твердого ОМ, однако толщина покрытия не должна превышать определенного критического значения.

Тонкие мягкие покрытия на твердом ОМ могут продавливаться выступами шероховатого контртела и при трении скольжением подвергаться царапанию с остаточной пластической деформацией. Если выступы неровностей контртела имеют более высокую твердость, они внедряются в ОМ и царапают также его. При трении относительно гладкого контртела по шероховатой поверхности с тонким мягким покрытием вначале процесс изнашивания пластической деформацией сочетается с адгезионным, уменьшая толщину покры-

тия вплоть до контакта контртела с выступами неровностей ОМ через покрытие. После этого износ существенно возрастает за счет одновременного действия двух механизмов изнашивания – адгезионного и царапания между выступами ОМ и контртела. Подобное изнашивание может иметь место при наличии твердых абразивных частиц в контакте.

Разрушение покрытий. Для повышения износостойкости часто применяют тонкие твердые покрытия. Но ОМ должен быть достаточно твердым во избежание его упругой или пластической деформации при трении, так как это приводит к росту напряжений в покрытии и на границе его раздела с ОМ, инициированию и распространению трещин. С повышением твердости ОМ возрастает несущая способность покрытий. Характер разрушения покрытий определяется комплексом факторов – твердостью и другими механическими свойствами покрытий и ОМ, толщиной покрытий, шероховатостью контактирующих поверхностей и границы раздела покрытия с ОМ. При определенных условиях может происходить отслаивание локальных участков покрытий, деформация и разрушение выступов шероховатостей, а также абразивными частицами в контакте пары трения.

Рассмотренные выше механизмы трения и изнашивания проявляются и на микро- и наноуровне, когда оцениваются напряжения и деформации на отдельных выступах шероховатости, образование отдельных частиц износа. Основными механизмами являются процессы возникновения и распространения трещин. Анализ микромеханизмов трения и изнашивания деталей с покрытиями должен учитывать значительное количество дополнительных факторов, для отдельных элементов ТС: для контртела – существенное влияние вязкости разрушения и модуля упругости; для поверхности контртела – незначительное влияние сопротивления сдвигу; для промежуточного материала (смазки) – значительное влияние сопротивления сдвигу и сопротивление качению, менее значительное влияние вязкости разрушения и модуля упругости; для поверхности покрытия – состав, строение и свойства поверхностных пленок, сопротивление сдвигу; для покрытия – существенное влияние толщины, вязкости разрушения, сопротивление сдвигу, модуль упругости. Существенное значение имеют параметры границы раздела покрытие-ОМ, механические свойства ОМ. Однако все эти явления еще изучены мало.

Трибохимические процессы при использовании покрытий подчиняются общим закономерностям, если покрытия плотные и защищают ОМ от воздействия окружающей среды.

Покрытия в узлах трения могут быть использованы для организации избирательного переноса при трении с формированием серовитных пленок. Пленки, снижающие трение и износ, могут формироваться при использовании композиционных покрытий, например, содержащих твердые смазки.

Ряд технологий получения покрытий позволяют получать также покрытия со специальным микорельефом, позволяющим регулировать площади контакта трибосопряжения, получать смазочные канавки, полости и микрорезервуары для запаса смазки, размещения микроэлементов конструкций и пр.

Оптимальный выбор известных и разработка новых триботехнических покрытий позволяют при проектировании узлов трения обеспечить: 1. трибологическую совместимость материалов пары трения при одновременном обеспечении других конструктивно-технологических требований; 2. более доступное обеспечение правила положительного градиента механических свойств пары трения; 3. более широкие возможности выбора прямой или обратной пар трения.

Литература

1. Спр. по триботехнике / под ред. М. Хебды, А.В Чичинадзе. В 3 т. – т.1. – М. : Машиностроение, 1989. – 400 с.

Яковенко Н.Д. Інститут механіки
ім. С. П. Тимошенка, Київ, Україна,

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ПІВРОСТОРУ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Імпульсна обробка являється ефективним сучасним методом підвищення міцності, зносостійкості та довговічності металевих елементів конструкцій [1].

В даній роботі розглядається півпростір з мікроструктурними перетвореннями (МСП) під дією теплового та механічного імпуль-

сів. Враховано об'ємні деформації, які обумовлені мікроструктурними перетвореннями мартенситного типу при охолодженні тіл, а також залежність непружних характеристик матеріалу від фазового складу. Об'ємні концентрації мікроструктурних фаз при нагріванні і охолодженні визначаються з експериментальних даних, які узагальнені в термодинамічній діаграмі.

В постановку динамічної осесиметричної зв'язаної задачі термомеханіки входять: кінематичні співвідношення Коші, рівняння руху, рівняння теплопровідності, де враховуються термодинамічна, термотрансформаційна та динамічна зв'язаності, а також початкові та граничні умови. Для опису нелінійної поведінки матеріалу використовується модель течії, узагальнена на випадок багатофазового складу [3]. Задача розв'язується чисельно методом покрокового неявного інтегрування по часу, ітераційного методу та МСЕ [2]. Надаються якісні та кількісні ефекти впливу фазового складу на непружні характеристики матеріалу. В якості матеріалу вибирається сталь 35ХМА.

На рис. 1, а і рис. 1, б приведені результати розрахунків, що ілюструють залишкові глибинні розподіли радіального напруження $\sigma_{rr}(z)$ без врахування МСП та із врахуванням МСП відповідно. За час формування залишкового стану приймається $t = 5 \cdot 10^{-7}$ с. На графіках використовуються такі позначення: q – лише теплове навантаження без врахування МСП; p – суто механічне навантаження; $p + q$ – комбіноване термомеханічне навантаження без врахування МСП; $q + f_s$ – лише теплове навантаження з врахуванням залежності непружних характеристик і трансформаційних змін об'єму від МСП; $q + p + f$ – комбіноване термомеханічне навантаження з врахуванням залежності змін об'єму від МСП; $q + f_s + p$ – комбіноване термомеханічне навантаження з врахуванням залежності непружних характеристик і трансформаційних змін об'єму від МСП.

При комбінованому термомеханічному стані формується трьохзонна область термофазомеханічного впливу: зона впливу МСП $z \leq 10^{-7}$ м, зона термомеханічного впливу $10^{-7} \text{ м} < z < 10^{-6}$ м і зона суто механічного впливу $z < 10^{-3}$ м. В області $z \leq 10^{-7}$ м МСП призводять до появи стискальних напружень (крива $q + p + f_s$ на рис. 1, б) замість розтягувальних (криві $q + p$ на рис. 1, а). Зменшення напружень розтягу з виходом в область стискаючих напружень при мартенситному перетворенні є якісним ефектом – це дозволяє збільшити міцність матеріалу поверхні півпростору.

Перехід матеріалу в мартенситну фазу супроводжується зміцненням за структурним механізмом. Зміцнення матеріалу в інших випадках здійснюється за традиційним механізмом непружного деформування. Найбільш показові дані для аналізу механізмів зміцнення наведені на рис. 3.

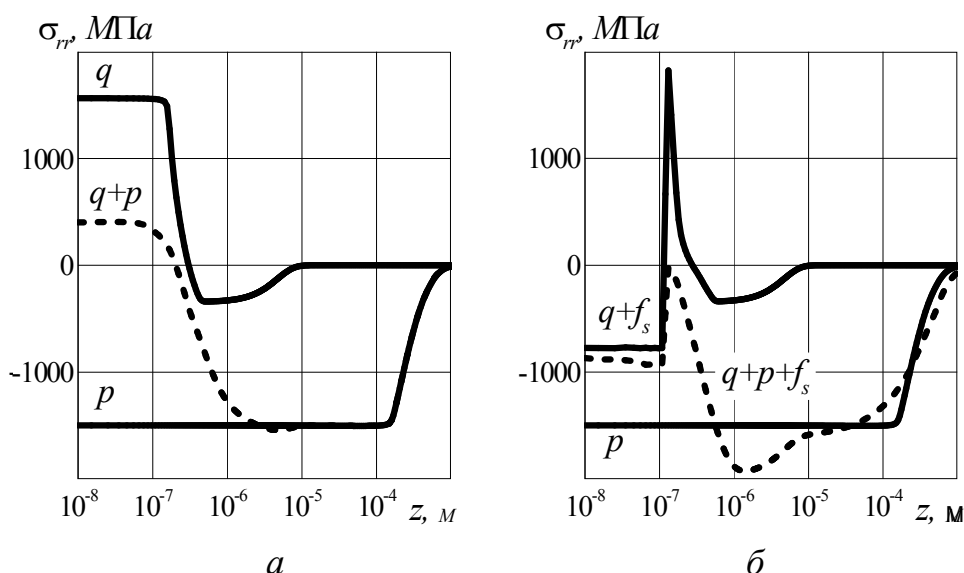


Рис. 1 – Розподіл радіальних залишкових напружень $\sigma_{rr}(z)$ без врахування МСП (а) та із врахуванням МСП (б)

Видно, що в зоні мартенситного перетворення $z \leq 10^{-7}$ м домінуючим є трансформаційний (фазовий) механізм (суцільна крива

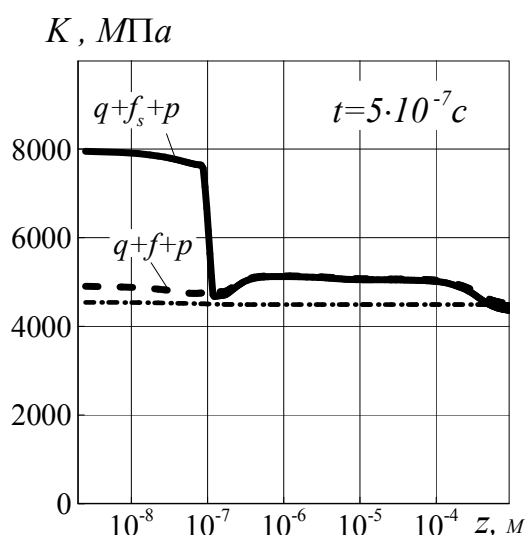


Рис. 2 – Розподіл параметра ізоотропного зміцнення K

$q + f_s + p$ на рис. 2), пов'язаний із зміцненням матеріалу в мартенситній фазі. Приріст параметра зміцнення K , пов'язаний з врахуванням залежності непружних характеристик від МСП (суцільна крива $q + f_s + p$, рис. 2) в шарі $z \leq 10^{-7}$ м майже в п'ять разів перевищує приріст K що виникає за рахунок деформаційного зміцнення (штрихова крива $q + p + f$, рис. 2).

Встановлено, що МСП разом з механічним імпульсом є суттєвим фактором формування стискальних напружень на поверхні тіл з марте-

нситних сталей, які збільшують міцність і втомну довговічність деталей конструкцій.

Література

1. Yilbas, B.S. Laser-shock processing of steel / B.S. Yilbas, S.Z. Shuja, A. Arif, M.A. Gondal // J. of Mat. Proc. Technol. – 2003. – v. 135. – P. 6–17.
2. Жук, Я.А. Осесимметричная динамическая связанная задача термовязкопластичности / Я.А. Жук, И.К. Сенченков, В.И. Козлов, Г.А. Табиева // Прикл. механика – 2001. – 37, № 10. – С.83–89.
3. Senchenkov, I.K. Modeling of a nonisothermal flow with regard for the dependence of plastic properties on the microstructure of a material [Електронний ресурс] / I.K. Senchenkov, N.D. Oksenchuk // J. Math. Sci. – 2013. – 190, № 6. – P. 796–803. – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10958-013-1289-6>.

*Закиев И.М., Закиев В.И., Юцкевич С.С.,
Смирнов Ю.И. Национальный авиационный
университет, Киев, Украина*

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЮ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МИКРОСКАЛЫВАНИЯ КРОМКИ

Одним из методов определения сопротивления хрупких материалов разрушению при локальном механическом нагружении, является метод царапания индентором поверхности образца до момента скалывания кромки S+EF метод (Scratch+Edge fracture). Достоинством метода является простота практического применения и получение объективных данных о механическом поведении хрупких материалов. Данный метод испытания наиболее близок к реальным эксплуатационным процессам для хрупкой медицинской керамики, работоспособность которой определяется такими механическими свойствами, как твердость, трещиностойкость, вязкость разрушения и др. [1].

Однако в основном S+EF метод применяется при макро испытаниях, когда разрушающие нагрузки исчисляются в килограммах, а

расстояния до кромки образца измеряются в миллиметрах [2]. При макро испытаниях, как правило, регистрируется конечный результат, это расстояние разрушения от кромки образца и нагрузка вызвавшая скол. Кроме того, при макро/S+EF испытаниях, как правило, не регистрируют ход внедрения индентора вдоль трассы сканирования. Такая информация позволит получить дополнительную информацию о процессе хрупко-пластического разрушения кромки материала, пластической деформации края и т.д.

Для реализации микро/S+EF метода, где расстояния от кромки измеряются микрометрами, а глубина внедрения индентора нанометрами, предлагается использовать многофункциональный индентометр “Micron-gamma” [3]. Прибор позволяет прицельно наносить уколы и царапины с микрометрической точностью благодаря встроенному оптическому микроскопу с цифровой камерой. Максимальная нагрузка на индентор может составлять 450 гс, а точность регистрации глубины внедрения – 5 нм. Процесс внедрения индентора в поверхность образца регистрируется в реальном масштабе времени, а двухкоординатный моторизованный предметный стол позволяет перемещать образец на заданное расстояние (до 30 мм), что позволяет наносить царапины перпендикулярно кромке исследуемого образца.

Оценка сопротивления разрушению методом микро/S+EF происходит в два этапа. Сначала, установив индентор на расстоянии 100-300 мкм от края, регистрируется профилограмма без нагрузки в направлении перпендикулярном кромке, для определения ее местоположения (рис. 1, а, кривая 1). Затем, вернувшись назад в исходное местоположение, наносится царапина с постоянной нагрузкой Р на индентор. При этом регистрируется нормальное перемещение индентора вдоль трассы сканирования – склерограмма (рис. 1, а, кривая 2). Разница L между кромками профилограммы (рис. 1, а, кривая 1) и склерограммы (рис. 1, а, кривая 2) будет искомой величиной – расстоянием начала разрушения от кромки образца. Причем, величина расстояния разрушения, измеренная по микрофотографии (рис. 1, б), будет значительно завышенной, т.к. падающий индентор дополнительно разрушает край.

Предложенный подход, позволяет измерить расстояние начала разрушения от кромки по диаграммам, получаемым при царапании поверхности образца до и после скола, значительно повышает точность и упрощает процесс измерения.

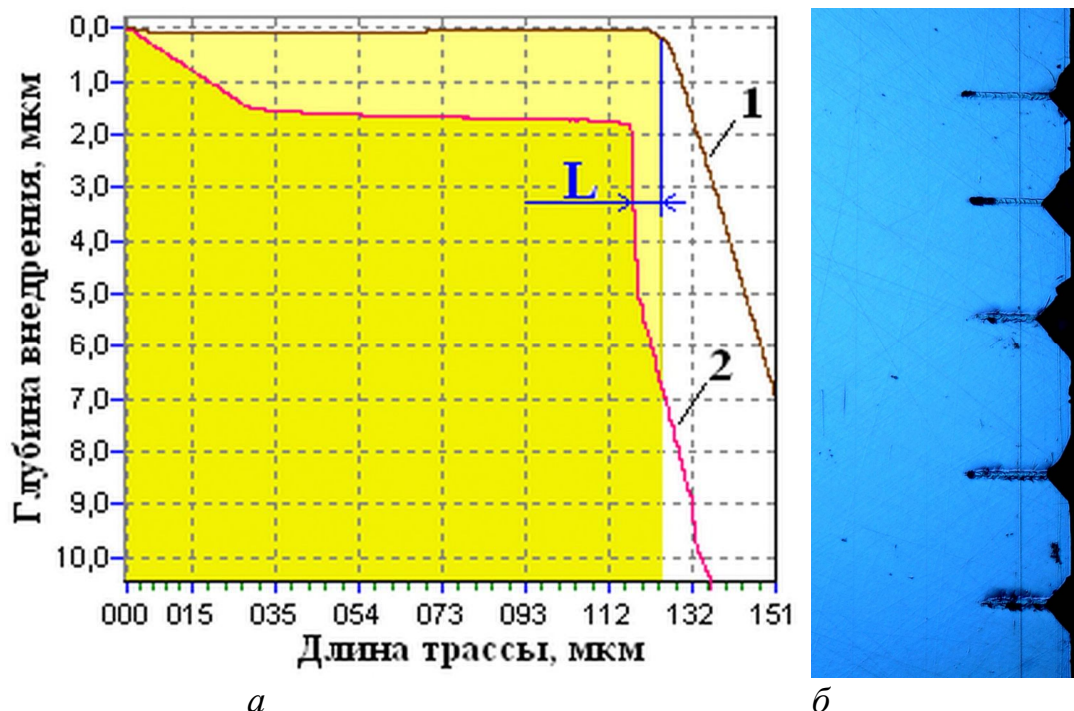


Рис. 1 – Профилограмма кромки 1 (без нагрузки), склерограмма 2 при царапании индентором Берковича кремния с нагрузкой 40 гс, L – расстояние скола от кромки (а) и микрофотография сколов (б)

Литература

1. Хворостяный, В.В. Механическое поведение керамики и стекла при локальных разрушениях кромок образцов индентором Роквелла / В.В. Хворостяный. // Пробл. прочности. – 2014. – № 3. – С. 106–115.
2. Gogotsi, G.A. Glass fracture in edge flaking / G.A. Gogotsi, V.I. Galenko, S.P. Mudrik, et al. // Strength of Materials. – 2007. – v. 39, № 6. – P. 639–645.
3. Игнатович, С.Р. Универсальный микро/ нано-индентометр «Микрон-гамма» / С.Р. Игнатович, И.М. Закиев // Заводская лаборатория. – 2011. – т. 77, № 1. – С. 61–67.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Акулович Л.М., Ворошуха О.Н.</i> МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С УПРАВЛЕНИЕМ ОРИЕНТИРОВАННЫМ РЕЗАНИЕМ	3
<i>Акулович Л.М., Миранович А.В.</i> ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, УПРОЧНЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ	5
<i>Акулович Л.М., Сергеев Л.Е., Сенчуrow Е.В.</i> ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОСЛЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ	8
<i>Александров Д.Д., Волков А.А., Лёвушкина Н.В., Фатюхин Д.С.</i> УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ РОЛИКОМ	10
<i>Барлетов Е., Морцилов М.В., Сундуков С.К., Сухов А.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ДЛЯ МОЙКИ АВТОМОБИЛЕЙ	13
<i>Бельмас І.В., Бобильова І.Т., Колосов Д.Л.</i> НАПРУЖЕНИЙ СТАН СТРІЧКИ ВІДНОВЛЕНОЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРОСА ВІДМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ	15
<i>Береснев В.М., Клименко С.А., Манохин А.С.</i> ІЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО ПОКРИТТЯ (Ti-Zr-Hf-V-Nb-Ta)N	17
<i>Бондаренко Ю.К., Артюх К.О., Логинова Ю.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ РИСКОВ НА ТЕХНИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ	20
<i>Бурлаков В.И.</i> РЕЛАКСАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ В НАДТВЕРДІЙ КЕРАМІЦІ ПРИ ВИБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ	23
<i>Бурыкин В.В.</i> ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТОРЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ, ОСНАЩЕННОЙ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВЕРХТВЕРДЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	25

<i>Варюхно В.В, Кулініч О.В., Євсюков Є.Ю., Довгаль А.Г.</i> ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ЗНОШУВАННЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЇХ НАНЕСЕННЯ	29
<i>Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Луцик М.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА ПЛАЗМОТРОНА	33
<i>Витязь П.А., Чижик С.А., Хейфец М.Л., Батаев А.А., Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Васильев А.С., Клименко С.А.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	36
<i>Влайков Г.Г., Барабаш М.Ю., Колесніченко А.А., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартинчук В.Є.</i> ДІАГНОСТИКА АМОРФНИХ ТА НАНОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОГЕРЕНТНОГО ФУР'Є АНАЛІЗУ	40
<i>Гайко В.А., Сенють Н.М. Бородавко В.И., Семененко Д.В., Грецкий Н.Л., Астапенко А.А.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	41
<i>Глембоцька Л.Є., Балицька Н.О.</i> ВПЛИВ ФОРМИ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ НОЖА ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ НА СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНИХ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ	44
<i>Гнатенко І.О., Лукаш В.А., Олійник Н.О., Базалій Г.А.</i> ВПЛИВ МЕТОДА ЗВАРЮВАННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ ІЗ СПЛАВУ 2219	47
<i>Голякевич А.А., Орлов Л.Н.</i> ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ МЕТАЛЛОПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА МАРКИ ТМВ5-МК ДЛЯ СВАРКИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ	49
<i>Гончаров П.В.</i> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ІМПУЛЬСНО-ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ГАРТІВНИХ СТАЛЕЙ	57

<i>Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Эминов Э.Д.</i> ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ	59
<i>Зяхор И.В., Кучук-Яценко С.И., Завертанный М.С.</i> СВАРКА ТРЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	64
<i>Клименко С.А., Манохин А.С., Клименко С.Ан., Копейкина М.Ю., Колмаков А.Г., Насакина Е.О., Хейфец М.Л.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	67
<i>Колмаков А.Г., Болотова Л.К., Кобелева Л.И., Быков П.А., Калашников И.Е., Хейфец М.Л., Клименко С.А., Копейкина М.Ю.</i> МЕХАНИЗМЫ ИЗНОСА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА БАББИТА	70
<i>Колмаков А.Г., Опарина И.Б.</i> ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	72
<i>Комарова Г.Л. Волошина Л.В.</i> ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ НА ЯКІСТЬ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ	75
<i>Копылов В.И., Свиточ И.О., Солодкий С.П.</i> УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПЛАЗМЕННЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ С КЕРАМИЧЕСКИМИ НАНОСОСТАВЛЯЮЩИМИ	77
<i>Кривошеков В.Е.</i> ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОХОДСТВЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ РАЗВИТЫХ СТРАН	80
<i>Курзина Е.Г., Курзина А.М., Семак А.В., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГОГИСТЕРЕЗИСНЫХ СВОЙСТВ СЭНДВИЧ-АМОРТИЗАТОРОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ СЖАТИИ	83
<i>Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Пасичный О.О., Максименко А.П., Зайцева И.Н.</i> ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ АС100 И АС200, ЗАКУПЛЕННЫЕ ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ, ДЛЯ ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	87

<i>Ляховицкий М.М., Рощупкин В.В., Покрасин М.А., Минина Н.А., Теплов А.О.</i> ПОЛЗУЧЕСТЬ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ	90
<i>Ляховицкий М.М., Рощупкин В.В., Покрасин М.А., Минина Н.А., Теплов А.О.</i> РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ	95
<i>Ляшенко Б.А., Рутковский А.В. Антонюк В.С.</i> ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ	100
<i>Максимова С.В., Воронов В.В., Ковальчук П.В.</i> ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ γ' -ОБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ЛИКВИДУСА НИКЕЛЕВЫХ ПРИПОЕВ	103
<i>Маленко П.И., Релмасира К.Д., Леонов А.Ю.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ СУБШЕРОХОВАТОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ	105
<i>Насакина Е.О., Сударчикова М.А., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л., Копейкина М.Ю., Клименко С.А.</i> ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО ТИТАНОВОГО СЛОЯ КАК КОМПОНЕНТА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	108
<i>Нечай А.А., Морцилов М.В., Нигметзянов Р. И., Перекрестова В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ АЗОТИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ	110
<i>Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Докійчук В.В., Китаєв О.М., Малишев І.П., Погорильчук В.А.</i> АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ ВАГОНЕТОК ДЛЯ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ	113
<i>Олейник Н.А., Ильницкая Г.Д., Базалий Г.А., Виноградова Е.П., Майстренко А.Л., Закора А.П., Ткач В.Н., Петасюк Г.А.</i> К ВОПРОСУ ОБ ИЗВЛЕЧЕНИИ ПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА ИЗ ШЛАМА ДОБЫЧИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	114

<i>Петасюк Г.А., Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Білоченко В.П., Петасюк О.У.</i>	
ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ РІДИННО-ФАЗОВОГО ПОКРИВУ ТЕРМОСТІЙКИМИ СПОЛУКАМИ ШЛІФПОРОШКІВ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	116
<i>Поліщук Д.В., Мельничук П.П.</i>	
АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПРЯМНИХ СТАНІН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ТОКАРНОЇ ГРУПИ	119
<i>Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Лавріненко В.І., Білоченко В.П., Лещенко О.В., Солод В.Ю.</i>	
МОДИФІКУВАННЯ ТЕРМОСТІЙКИМИ ОКСИДАМИ І ХЛОРИДАМИ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ І КОМПАКТІВ НА ОСНОВІ МІКРОПОРОШКІВ c_{BN} , ЩО БУДУТЬ ВИКОРИСТАНІ У ШЛІФУВАЛЬНОМУ ІНСТРУМЕНТІ	123
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Немировський Я.Б.</i>	
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОТЯГУВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИМ РУХОМ	126
<i>Рощупкин В.В., Терентьев В.Ф., Пенкин А.Г., Покрасин М.А., Пенкин М.А., Теплов А.О.</i>	
АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТРИП-СТАЛИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ РАСТЯЖЕНИИ	130
<i>Рябченко С.В., Сильченко Я.Л., Федоренко В.Т., Гржибовский Б.Б., Шепелев А.А.</i>	
КАЧЕСТВО ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОЛОНА АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	139
<i>Сенють В.Т.</i>	
ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗОВ НА АМОРФИЗАЦИЮ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ В ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ	141
<i>Сенють В.Т., Витязь П.А., Валькович И.В., Хейфец М.Л., Колмаков А.Г.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРА НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРНОГО НИТРИДА БОРА НА МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЕЧЕННОГО ПОД ДАВЛЕНИЕМ СПЛАВА ПГ-СР4	144
<i>Сергеев А.Н., Кутепов С.Н., Гвоздев А.Е., Колмаков А.Г., Хейфец М.Л.</i>	
О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ КОНТРОЛЯ ДИФФУЗИОННО- ПОДВИЖНОГО ВОДОРОДА	146

<i>Сергеев В.П., Клінов В.Д., Бошицька Н.В., Логінова О.Б., Кістерська Л.Д.</i> НАНОСТРУКТУРОВАНЕ ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНО МОДИФІКОВАНЕ НАНОЧАСТИНКАМИ СРІБЛА ДЛЯ ФІЛЬТРІВ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ТА ВОДИ	149
<i>Смирнов И.В., Лопата А.В., Соловых Е.К., Лопата Л.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКОЙ	151
<i>Сороченко В.Г., Сохань С.В., Ильницкая Г.Д.</i> ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОЙ ОДНОРОДНОСТИ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА И ФОРМЫ ЗЕРЕН АЛМАЗА НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	154
<i>Стахнив Н.Е., Девин Л.Н.</i> ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ РЕЗЦАМИ С АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ	157
<i>Таболитч А.В., Семененко Д.В., Иванов Е.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОГНЕУПОРОВ	160
<i>Танцюра Г.І., Білоус О.І.</i> САМОВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА	163
<i>Тимофеев С.С., Букін Р.В.</i> КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЯК ФУНКЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ	165
<i>Тимофеев С.С., Воскобойніков Д.Г.</i> УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ І КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЮ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ	167
<i>Тимофеева Л.А., Колесник М.А.</i> АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДРО- ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ З ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ	169
<i>Тимофеева Л.А., Титар Д.М.</i> ФАКТОРИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ	171

<i>Ульянчик Н.В., Коломієць В.В., Логінова О.Б., Кістерська Л.Д.</i> СТВОРЕННЯ АНТИБАКТЕРІАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ІМПЛАНТАТАХ ІЗ БІОАКТИВНИМ ПОКРИТТЯМ З КАЛЬЦІЙФОСФАТНОЇ КЕРАМІКИ	174
<i>Федченко І.І., Цап О.І.</i> СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ, ЯК МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ	176
<i>Харламов Ю.А., Вишневский Д.А.</i> АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	178
<i>Харламов Ю.А.</i> ТРИБОЛОГИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	183
<i>Яковенко Н.Д.</i> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ПІВРОСТОРУ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ ТЕРМОМЕХАНІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ	187
<i>Закиев И.М., Закиев В.И., Юцкевич С.С., Смирнов Ю.И.</i> ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЮ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МИКРОСКАЛЫВАНИЯ КРОМКИ	190

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

Материалы 19-й Международной научно-технической
конференции, 20–24 мая 2019, г. Свалява, Закарпатская обл.

Компьютерная верстка: Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 06. 05. 2019

Формат 60×84×1/16. Бумага типографская

Печать офсетная. Уч. изд. л. 16,5.

Тираж 150 экз.

Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
04074, г. Киев, ул. Автозаводская, 2