



Ассоциация технологов-машиностроителей Украины
Академия технологических наук Украины
Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»
Союз инженеров-механиков НТУ Украины «КПИ»
ООО «НПП РЕММАШ» (Украина)
ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» (Украина)
Украинский государственный университет железнодорожного транспорта
ОАО «Ильницкий завод МСО» (Украина)
Белорусский национальный технический университет
ГНПО «Центр» НАН Беларуси
Ассоциация инженеров-трибологов России
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
Издательство «Машиностроение» (Россия)
ООО «Композит» (Россия)
Каунасский технологический университет (Литва)
Машиностроительный факультет Белградского университета (Сербия)

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

**Посвящается 90-летию со дня рождения
доктора технических наук, профессора
Э.В. Рыжова**

*Материалы 18-й Международной
научно-технической конференции*

(04–08 июня 2018 г., г. Свалява, Закарпатская обл.)

Киев – 2018

Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 18-й Международной научно-технической конференции, 04–08 июня 2018 г., г. Свалява, Закарпатская обл. – Киев: АТМ Украины, 2018.– 184 с.

Научные направления конференции

- Научные основы инженерии поверхности:
 - материаловедение
 - физико-химическая механика материалов
 - физикохимия контактного взаимодействия
 - износо- и коррозионная стойкость, прочность поверхностного слоя
 - функциональные покрытия и поверхности
 - технологическое управление качеством деталей машин
 - вопросы трибологии в машиностроении
- Технология ремонта машин, восстановления и упрочнения деталей
- Метрологическое обеспечение ремонтного производства
- Экология ремонтно-восстановительных работ
- Сварка, наплавка и другие реновационные технологии на предприятиях горнометаллургической, машиностроительной промышленности и на транспорте

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2018 г.

ЭДУАРД ВЯЧЕСЛАВОВИЧ РЫЖОВ

В 8 ноября 2018 году исполняется 90 лет со дня рождения профессора, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации Эдуард Вячеславович Рыжова.

Родился Эдуард Вячеславович в г. Брянске.

В 1944 г. он был принят на подготовительное отделение Бежицкого машиностроительного института, позднее переименованного в Брянский институт транспортного машиностроения (БИТМ, ныне Брянский государственный технический университет). 1950 г. с отличием закончил институт, получив звание инженера-механика по специальности "Технология машиностроения" и был направлен на Ленинградский металлургический завод, где работал мастером механо-сборочного цеха, потом старшим инженером технологической лаборатории завода.

Научная деятельность Э.В. Рыжова началась в декабре 1951 г. с поступления в аспирантуру при кафедре "Технология машиностроения" Ленинградского политехнического института, где в 1954 г. под руководством проф., д.т.н. А.П. Соколовского досрочно защитил кандидатскую диссертацию.

С 1954 по 1958 г. Э.В. Рыжов работал доцентом сельскохозяйственного института в г. Волгограде. С 1958 г. продолжил научно-педагогическую деятельность в БИТМе в должности старшего научного сотрудника, доцента, заведующего кафедрой "Технология машиностроения".

В 1967 г. Эдуард Вячеславович защитил докторскую диссертацию в Московском станкоинструментальном институте.

В 1970 г. он был назначен проректором по научной работе, а затем до 1979 г. являлся ректором БИТМа, продолжая активно участвовать в научно-исследовательской работе, выполняемой по заданиям Волгоградского тракторного завода, Коломенского завода тяжелых станков, Горьковского завода фрезерных станков, Московского завода шлифовальных станков, завода дорожных, ирригационных машин, автомобильного и машиностроительного заводов г. Брянска, научно-исследовательских институтов различных отраслей промышленности. В те же годы были налажены тесные контакты и обмен научно-педагогическим опытом с ВУЗами Чехословакии, ГДР, Венгрии, Болгарии, Великобритании.

В 1976 г. Эдуарду Вячеславовичу присвоено почетное звание "Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации".

С именем Эдуарда Вячеславовича Рыжова связано создание и развитие Брянской научной технологической школы. В своем развитии более чем за 40 лет она прошла путь от решения частных вопросов изучения шероховатости, контактной жесткости, износостойкости и обработки поверхностей различными методами до комплексного реше-

ния проблем повышения качества и обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин.

В Институте сверхтвердых материалов (ИСМ) АН УССР с 1979 до 1986 г. профессор Э.В. Рыжов работал заместителем директора по научной работе и до последнего дня жизни (20 ноября 1997 г.) возглавлял отдел "Технологическое управление качеством обработки поверхностей".

В ИСМ он развивал направление работ по технологическому управлению качеством и эксплуатационными свойствами поверхностей. Основываясь на исследованиях в области механики контактного взаимодействия твердых тел, основных положениях теории упругости и эластичности, разработаны математические модели для оценки поверхностной прочности металлов в условиях упругого, пластического и упругопластического контакта при статических и динамических нагрузках. Эти результаты получили надежное экспериментальное подтверждение и сегодня широко используются в работах отечественных и зарубежных специалистов и исследователей при анализе контактной прочности и жесткости.

Разработанные теоретические подходы ознаменовали новый этап в развитии расчетов контактного взаимодействия деталей, позволившего фактически впервые в мировой практике учитывать на стадии проектирования машин влияние технологи изготовления на их важнейшие эксплуатационные показатели.

Эти результаты оказали решающее влияние на прикладные работы по оптимизации технологических процессов физико-механической обработки деталей, выполненные под научным руководством Э.В. Рыжова. Значительно расширен диапазон рационального применения традиционных методов обработки, разработаны и усовершенствованы эффективные комбинированные методы физико-механической обработки – тонкая плазменно-механическая обработка, электромеханическая с одновременным легированием поверхности, магнитно-абразивная, лазерно-механическая, алмазно-электроэрозионное шлифование и др. Разработаны высокоэффективные технологии обработки деталей с покрытиями высокой твердости при использовании инструментов из сверхтвердых материалов.

За исследования по обработке наплавленных материалов и внедрение их результатов в промышленность Э.В. Рыжову в составе коллектива авторов ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР и ИСМ АН УССР в 1988 г. присуждена премия АН УССР им. Е.О. Патона.

Э.В. Рыжовым был заложен фундамент успешного функционирования в ИСМ научной школы по качеству обработки поверхности и управлению ее эксплуатационными свойствами в результате чего на практике было достигнуто повышение производительности обработки, качества, надежности и долговечности выпускаемой продукции в различных отраслях машиностроения – станков, турбин, дизелей, техно-

логической оснастки, металлургического оборудования, инструментов, деталей приборостроения.

Эдуард Вячеславович был инициатором создания и первым президентом Ассоциации технологов-машиностроителей Украины – всеукраинской общественной организации, объединяющей специалистов промышленных предприятий, научно-исследовательских и академических институтов и ВУЗов, был одним из организаторов Академии инженерных наук Украины.

В 1995 г. он был избран академиком Нью-Йоркской академии наук США.

Долгое время Э.В. Рыжов являлся заместителем главного редактора журнала "Сверхтвердые материалы", был организатором и участником многочисленных Международных научно-технических конференций.

Перу Эдуарда Вячеславовича принадлежат более 500 научных трудов, в том числе 23 монографии и справочника, изданных в Украине, странах СНГ, США, КНР, Японии, Франции, Индии, Югославии, Великобритании, ГДР, Венгрии, Чехословакии, Польше, Болгарии. Широко известны работы Э.В. Рыжова "Контактная жесткость деталей машин" (М.: Машиностроение, 1966), "Технологическая наследственность в машиностроении" (Минск: Наука и техника, 1977), "Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин" (М.: Машиностроение, 1979), "Качество поверхности при алмазно-абразивной обработке" (Киев: Наукова думка, 1979), "Качество поверхности и контакт деталей машин" (М.: Машиностроение, 1981), "Контактирование твердых тел при статических и динамических нагрузках" (Киев: Наукова думка, 1982), "Технологические методы повышения износостойкости деталей машин" (Киев: Наукова думка, 1984), "Оптимизация технологических процессов механической обработки" (Киев: Наукова думка, 1989), "Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями" (Киев: Наукова думка, 1996).

Профессор Э.В. Рыжов оставил после себя авторитетную научную школу, многочисленных учеников – более 60 кандидатов и 10 докторов технических наук, успешно развивающих направление технологического обеспечения качества и эксплуатационных свойств деталей машин. Для них Эдуард Вячеславович Рыжов был не только учителем, но и примером огромной работоспособности, а также высокой требовательности к себе, творческого отношения к науке, настоящим профессионалом, ученым, образцом порядочного и принципиального человека.

Агеев М.С. Херсонская государственная
морская академия, Херсон,
Лопата А.В. НТУ Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Ляшенко Б.А., Лопата Л.А. Институт проблем прочности
им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

РОЛЬ ТЕОРИЙ АДГЕЗИИ В ФОРМИРОВАНИИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Прочность сцепления в теории технологии и практики защитных покрытий, бесспорно, признана проблемой № 1 [1]. Независимо от области применения покрытия прочность сцепления является основным фактором, определяющим его пригодность. Рост адгезионной прочности повышает защитные способности и надежность покрытия. Вопросы адгезионной прочности затрагивают покрытия, клеевые и паяные соединения, биметаллы, композитные материалы с металлической, полимерной и кристаллической матрицей. Адгезионная прочность поверхностных слоев и расслоение рассматривается как основа теории износа, как определяющая износостойкость антифрикционных покрытий [2]. Прочность сцепления принимается в качестве основного параметра оптимизации технологических процессов при анализе многих факторов в различных отраслях промышленности [3]. Композитные материалы используются как самостоятельные конструкционные, и как упрочнители обычных металлических конструкций. Отмечено, что свойства композитных материалов при слоистом, волокнистом и дисперсном армировании определяется прочностью сцепления арматуры с матрицей. Поверхность раздела выделяется как самостоятельный компонент, вводится термин «прочность интерфейса» [4, 5]. Сформировалось новое научное направление – адгезионная механика. Исследователи адгезионной прочности, как правило, рассматривают применимость теории и практики адгезии к какому-либо определенному виду покрытий (лакокрасочных, гальванических, жаростойких) композитных материалов (стеклопластиков, биметаллов) и соединений (клеевых, паяных, типа металл-стекло и т.п.). Каждый вид резко отличается свойствами и областью применения. Для каждого вида присущи определенные теории адгезии, методы экспериментального исследования и приборы. Этим теориям и методам свойственны общие и специфические достоинства и недостатки. Для создания науч-

ных основ синтеза многооперационных технологий поверхностного упрочнения с учетом всех многообразных явлений была предпринята попытка проанализировать состояние существующих теоретических подходов и методов оценки адгезионной прочности, применяемых в исследовании различных видов адгезионных соединений.

В результате этого анализа предполагаем оценить возможность применения существующих гипотез и теорий адгезии для решения проблем прочности материалов с покрытиями как в условиях формирования покрытия, так и (особенно!) в условиях их эксплуатации.

Несмотря на обширные исследования в различных областях, еще не разработана сколько-нибудь общая теория адгезии [9, 10-12]. Прогресс в области адгезионных соединений определяется лишь экспериментальными исследованиями, а природа адгезии остается еще неясной [13]. Существующие теории и гипотезы не обладают силой прогноза, многое остается дискуссионным [11]. Отсутствие расчетов прочности сцепления обусловлено трудностями теоретического и экспериментального анализа формирования покрытия и сложной зависимостью процессов от большего числа параметров [14].

Явление адгезии в твердых телах трактуется как предмет исследования, находящийся на стыке наук – физики твердого тела, химии, механики деформируемого тела и реологии. Обзор современных концепций и представлений, касающихся разрушения адгезионных соединений, указывает на аналогию с механикой разрушения. В проведенной нами работе приведен обзор современного состояния теоретических представлений и методов экспериментальных исследований физических, химических и механических явлений адгезии. Рассмотрена история развития теоретических моделей для описания адгезии, связанные с ней механические явления, основы термодинамики процессов, происходящих на границе раздела фаз при адгезии, роль межмолекулярных взаимодействий и их особенности при адгезии.

Многочисленными экспериментами установлено, что сцепление происходит за счет различных явлений и процессов – механического зацепления, физической адгезии, образования химической связи, сил усадки, металлургического взаимодействия, диффузии. Показана возможность возникновения на контактной поверхности самых различных типов связи. В соответствии с этим в основу многих теорий адгезии положены эти отдельные явления и процессы. В основном каждая теория адгезии рассматривает одно из этих явлений как главную причину образования прочной связи, пренебрегая остальными.

При образовании адгезионного соединения различают первичные и вторичные процессы. Первичные – возникновение молекулярной или химической связи (ионной, ковалентной, механической). Первичные процессы характеризуются явлением смачивания. Используют также положения теории капиллярности. Вторичные процессы – химические и электрохимические реакции, растворение, диффузия. Развитие реакций, приводящих к образованию переходных слоев, является главным условием прочного сцепления разнородных материалов.

Теория и гипотезы, предложенные для объяснения сцепления металлов, довольно противоречивы, не дают зависимости способности к сцеплению от физико-химических свойств компонентов. Рекристаллизационная гипотеза объясняет сцепление совместной рекристаллизацией зерен на границе раздела слоев. Однако металлографический анализ опровергает эту гипотезу, она не объясняет многих явлений.

Энергетическая гипотеза основана на активировании сцепления пластической деформацией. Развитие ее привело к дислокационной гипотезе сцепления, согласно которой адгезионная связь вызвана движением дислокационных границ отдельных контактов до образования связей на всей площади контакта. Однако обе эти гипотезы не могут объяснить, от каких физико-химических свойств материалов зависит адгезионная прочность.

Для сцепления металлов предложена пленочная гипотеза, согласно которой сцепление определяется свойствами пленок окислов и адсорбированных веществ. Отмечают незначительное влияние на адгезию чистых металлов физически адсорбированного газа и более значительное влияние химически адсорбированного. Недостаток адсорбционной теории в том, что она не объясняет больших значений реальной прочности сцепления. Развитием адсорбционной является молекулярная теория адгезии, которая должна послужить базой для создания единой теории адгезии. Молекулярная теория учитывает каталитическое действие поверхности, соотношение поверхностных энергий, поверхностную и объемную диффузию, микрореологию и эффект дальнего действия поверхностных сил.

Электронная теория адгезии основана на возникновении двойного электрического слоя на границе раздела фаз. В развитие электронной теории предложена электрорелаксационная теория адгезии, учитывающая работу разрушения двойного электрического слоя на границе раздела, диффузионные явления и зависимости работы де-

формации адгезива от скорости деформирования. Электронная теория является своеобразным развитием адсорбционной теории.

Отмечают «механическую» адгезию, зависящую от шероховатости и пористости контактных поверхностей. Электрохимическая теория сцепления с металлом покрытий объясняет адгезионную связь неравномерным растворением поверхности электрохимической коррозией и увеличением механической составляющей адгезии. Повышению прочности сцепления способствует частичная или взаимная растворимость и хорошая смачиваемость. Однако смачивание поверхности не является необходимым условием высокой прочности сцепления. Для напыленных покрытий решающей является стадия химического взаимодействия. Однако роль диффузионных процессов в образовании адгезионной связи покрытий велика.

Диффузионная теория сцепления предложена для металлов, стеклоэмалей, для полимерных систем. Считается, что диффузия один из эффективных способов достижения молекулярного контакта между компонентами. Диффузионная теория рассматривает адгезию как объемное явление, а не поверхностное. Диффузионное взаимодействие на границе раздела фаз приводит к образованию межфазного слоя с особыми механическими свойствами. Поэтому в исследовательской практике стали уделять больше внимания изучению межфазной, интерфейсной, связующей, промежуточной зоне в покрытиях и композитах. Основные вопросы – структура и свойства этой зоны. При газотермической напылении толщина диффузионного слоя составляет 2 мкм. Диффузионная теория адгезии широко

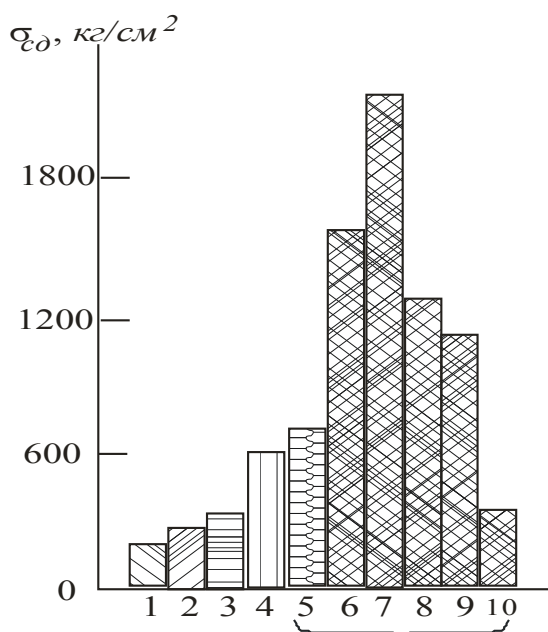


Рис. 1. Диаграмма прочности сцепления покрытий, наносимых различными способами на Сталь 3:

1 – газопламенным напылением; 2 – плазменным напылением; 3 – гальванизацией; 4 – детонационным напылением; 5 – электроискровым легированием; 6–10 – вакуумной конденсацией. Напылители: Ni+Ст.3 (1–6); Ni+TiC (7); Ni+B (8); Ni+NbC (9); Ni+ZrO₂ (10)

применяется в многооперационных технологиях упрочняющих покрытий. Особенно эффективно ее применение для повышения качества газотермических и электролитических покрытий. На практике теория реализуется различными видами термической обработки покрытий. Преимущества диффузионной теории заключается в ее технологической гибкости при регулировании диффузионной подвижности различными добавками. На рис. 1 показана роль диффузионного процесса в повышении адгезионной прочности Ni-покрытия на стали 3, нанесенного методом EB-PVD.

Выводы. Прочность сцепления является сложной функцией смачивающей способности и химической активности расплава, энергии межатомных связей и формы микрорельефа поверхности. Существующие теории и гипотезы адгезии не противоречат, а только дополняют одна другую. Для применения любой теории адгезии в каждом случае необходим конкретный анализ адгезионных явлений. В практике многооперационных технологий упрочняющих покрытий наиболее распространена и востребована диффузионная теория адгезии, реализуемая при различных видах термической обработки.

Антонюк В.С. НТУ НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», Київ
Медяник В.В., Білокінь С.О., Бондаренко Ю.Ю.,
Бондаренко М.О. Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ НА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІЙ КЕРАМІЦІ ПІСЛЯ ЇХ МОДИФІКУВАННІ ЕЛЕКТРОННИМ ПОТОКОМ

До виробів п'єзотехніки в останній час висувуються жорсткі вимоги до стану та хімічної стійкості поверхонь металевих (срібних) електродів, на які суттєвий руйнуючий вплив здійснюють атмосферні гази – особливо, з'єднання сірки та аміаку.

З метою підвищення ерозійної стійкості таких покриттів на виробках із п'єзокераміки, розроблено спосіб, який поєднує в одному технологічному циклі технологію нанесення тонких металевих плівок на плоскопаралельні пластини з п'єзоелектричної кераміки системи ЦТС з подальшою їх обробкою стрічковим електронним потоком [1].

На рис. 1 показано зовнішній вигляд вихідної поверхні до випробувань (рис. 1, *а*) та поверхні після прискорених випробувань в агресивних атмосферних умовах (вміст SO_2 – 140 мг/м³; NH_3 – до 750 мг/м³) протягом 10 діб (рис. 1, *б*) і профілограма ділянки поверхні срібного електроду пластини з п'єзокераміки ЦТС-19 без електронної обробки (рис. 1, *в*). Слід зазначити, що усі результати досліджень отримані на атомно-силовому мікроскопі «NT-206» (ТДВ «Мікротестмашини», м. Гомель, Білорусь).

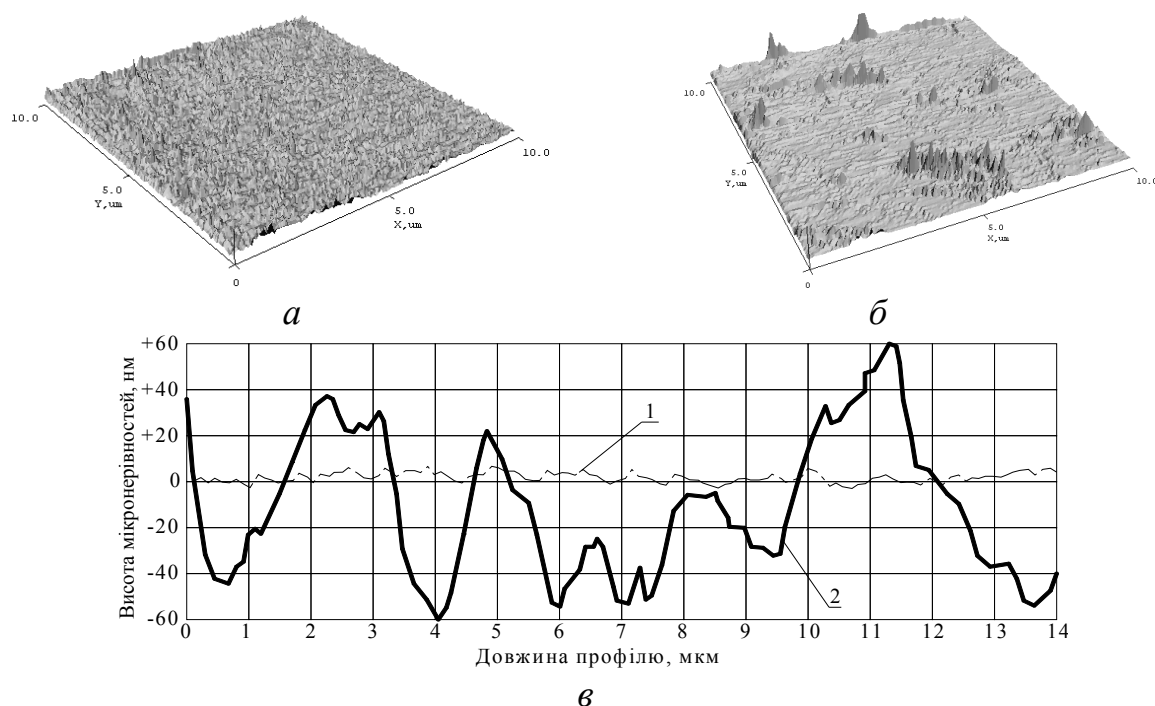


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд вихідної поверхні (до випробувань) (*а*) та поверхня після прискорених випробувань в агресивних атмосферних умовах (*б*) і профілограма ділянки поверхні срібного електроду пластини з п'єзокераміки ЦТС-19 без електронної обробки (*в*); профіль поверхні: 1 – до випробувань; 2 – після прискорених випробувань

Як встановлено в результаті попередніх досліджень [2], при обробці електронним променем напиленої тонкої плівки здійснюється процес вплавлення та ущільнення цієї плівки. Так, на рис. 2 показано зовнішній вигляд вихідної поверхні до випробувань (рис. 2, *а*) та поверхня після прискорених випробувань в агресивних атмосферних умовах (вміст SO_2 – 140 мг/м³; NH_3 – до 750 мг/м³) протягом 10 діб (рис. 2, *б*) і профілограма ділянки поверхні срібного електроду пластини з п'єзокераміки ЦТС-19 після електронної обробки (рис. 2, *в*).

Аналізуючи рис. 2, можна зробити висновок, що після обробки електронним променем рівень мікронерівностей зменшується з 45–25 нм до 12,0–4,5 нм (профілі 1 та 2, рис. 2, *в*), а мікрокристалічна

структура срібного покриття при цьому переходить з кубічної структури в ущільнені рівноосні кристаліти, що характерні для масивного відпаленого матеріалу.

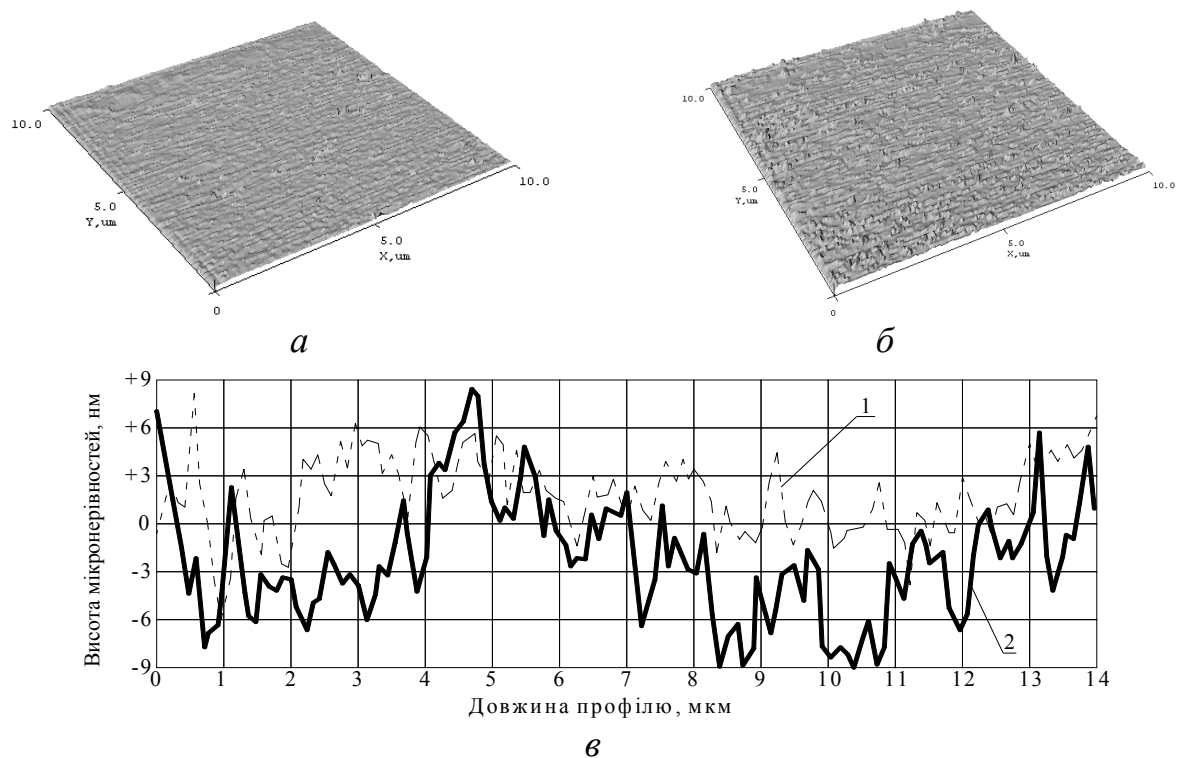


Рис. 2. Зовнішній вигляд вихідної поверхні (до випробувань) (а) та поверхня після прискорених випробувань в агресивних атмосферних умовах (б) і профілограма ділянки поверхні срібного електроду пластини з п'єзокераміки ЦТС-19 після електронної обробки (в);
профіль поверхні: 1 – до випробувань; 2 – після прискорених випробувань

При цьому покращуються техніко-експлуатаційні характеристики поверхневого шару та підвищується міцність зчеплення металевого покриття з основою, що дозволяє використовувати дані вироби навіть в умовах агресивних середовищ газів.

В результаті проведених досліджень доведена практична можливість підвищення ерозійної стійкості від впливу атмосферних газів для срібних покриттів електродів на виробих із п'єзоелектричної кераміки шляхом їх модифікації стрічковим електронним потоком.

Література

1. Антонюк В.С. Модифицирование металлизированных поверхностей ленточным электронным потоком / В.С. Антонюк, Ю.И. Коваленко, М.А. Бондаренко, И.В. Яценко // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. XIII Международ. науч.-техн. конф., 3–7 июня 2013 г., г. Ялта. – К. : АТМ Украины, 2013. – С. 15–19.

2. Антонюк В.С. Особенности формирования переходной зоны «электрод-основа» в пьезокерамических изделиях термовакuumным методом / В.С. Антонюк, А.В. Котляр, П.В. Петлеваний, М.А. Бондаренко // Инженерия поверхности и реновация изделий: Мат. XI международ. науч.-техн. конф., 23-27 мая 2011 г., г. Ялта. – К. : АТМ України, 2011. – С. 28–32.

Антонюк В.С. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського», Київ,
Яценко І.В., Кириченко О.В., Ващенко В.А.
Черкаський державний технологічний
університет, Черкаси, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ КЕРАМІК

Сучасні технології виробництва продукції мікротехніки та п'єзоелектрики базуються на відомих методах механічної, хімічної та хіміко-механічної обробки поверхонь п'єзоелектричних матеріалів, зокрема керамік. Головним недоліком цих методів є неможливість отримання високих електромеханічних та міцнісних характеристик виробів з п'єзоелектричних керамік, що вимагає додаткової обробки цих виробів.

Таким чином, недосконалість поверхонь та наявність мікро- та нанодфектів у п'єзокераміках накладає обмеження на ефективність всієї елементної бази п'єзоелектричних елементів мікротехніки.

Виключення негативних дефектів на поверхні елементів з п'єзоелектричної кераміки можливе внаслідок використання електронно-променевої технології [1, 2].

В результаті проведених досліджень на зразках з п'єзоелектричної кераміки марки ЦТС-19 (диски діаметром $3,5 \cdot 10^{-3}$ м, товщиною 10^{-3} м) встановлено, що при електронно-променевої обробці середня висота залишкових мікронерівностей зменшується від 120–160 нм (рис. 1, а, б) до 95–105 нм (рис. 2, а, б). Встановлено, що після електронно-променевої обробки спостерігається зменшення поруватості поверхні п'єзокерамічного елемента (рис. 3).

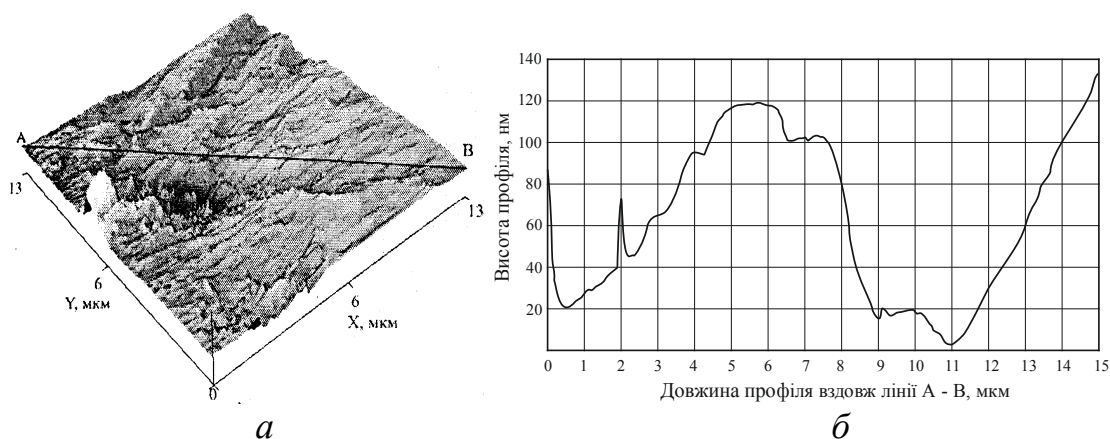


Рис. 1. Топограма (а) та профіль вздовж лінії А–В відсканованої ділянки (13×13 мкм) поверхні п'єзокерамічного елемента (б), необробленої електронним променем

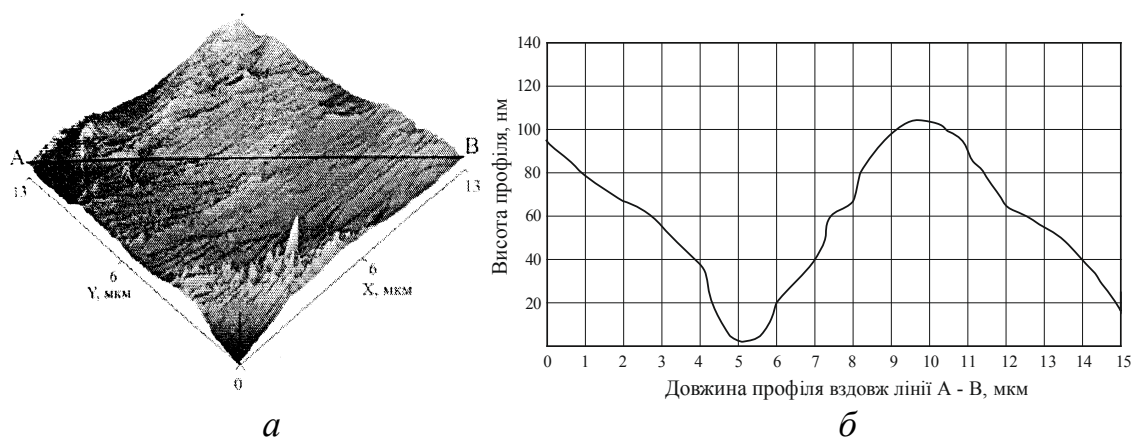


Рис. 2. Топограма (а) та профіль вздовж лінії А–В відсканованої ділянки (13×13 мкм) поверхні п'єзокерамічного елемента (б), обробленої електронним променем

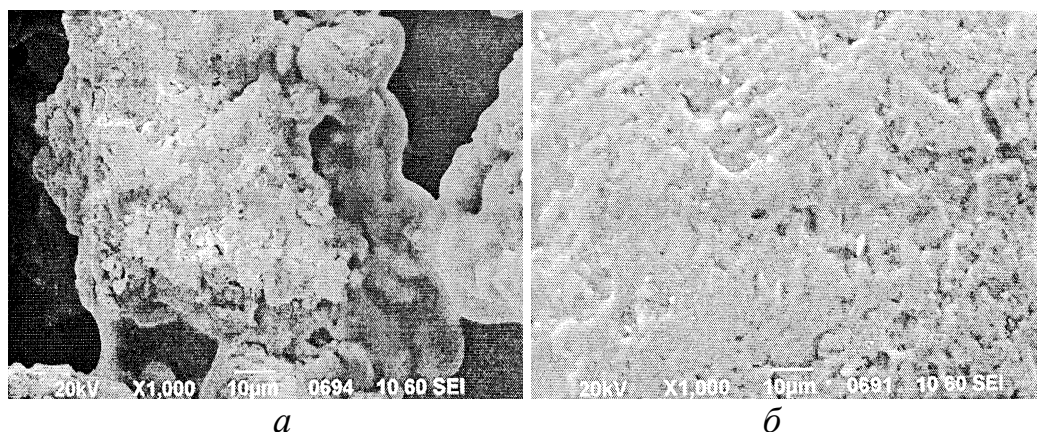


Рис. 3. Поверхня п'єзокерамічного елемента до (а) та після (б) електронно-променевої обробки

Отримано, що середній розмір пор вихідного елемента становить 15–20 мкм, а після електронно-променевої обробки зменшується до

5–8 мкм. При цьому відбувається усунення окремих мікро- та нанодефектів на поверхні елементів (до 5–10% мікротріщин шириною до 5–7 мкм та до 50–60% пор), її мікротвердість збільшується на 0,5–0,8 МПа.

Це призводить, у підсумку, до збільшення строку експлуатації, збільшення коефіцієнта електромеханічного зв'язку, підвищення п'єзомодуля та інших експлуатаційних характеристик.

Встановлено, що у світлі сучасних новітніх технологій, які використовуються в точному приладобудуванні, електронно-променева обробка елементів з п'єзоелектричних керамік визначається як потенційно спроможна для якісної обробки плоских та криволінійних елементів, одержання на їх поверхнях за допомогою електронних променів функціональних наноструктур, які можуть бути використані в якості елементної бази у мікротехніці, функціональній електроніці тощо [3, 4]. Крім того, незаперечними перевагами електронно-променевої технології є її екологічна чистота та спроможність одержання у єдиному технологічному циклі на загальній платі з п'єзокерамічного матеріалу мікроелементів з покращеними експлуатаційними характеристиками, використання яких у деталях мікротехніки сприяє безвідмовній роботі при експлуатації у екстремальних умовах.

Література

1. Influence of parameters by electronic ray on properties of superficial layers of optical elements of exact instrument-making / I. Yatsenko, V. Antonyuk, M. Bondarenko, V. Vashchenko // Innovations in discrete productions. – 2015. – № 1. – Р. 13–15.

2. Підвищення фізико-механічних параметрів елементів з оптичних керамік фінішною електронно-променевою обробкою / В.С. Антонюк, І.В. Яценко, О.В. Кириченко, В.А. Ващенко // Сучасні технології в машинобудуванні: Зб. наук. тр. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – С 74–86.

3. Визначення критичних значень параметрів електронного променю при поверхневому оплавленні оптичних елементів точного приладобудування / І.В. Яценко, В.С. Антонюк, В.І. Гордієнко та ін. // Журнал нано- та електронної фізики. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 01010-1–01010-5.

4. Патент № 119627 Україна. Спосіб обробки криволінійних поверхонь / І.В. Яценко, В.С. Антонюк, В.А. Ващенко // Промислова власність. – 2017 р. – № 18.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛА ТРЕНИЯ С МИНИМАЛЬНЫМ КОНТАКТНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Анализ напряжений и деформаций в элементах пары трения «втулка-вал», широко применяемых в различных машинах и механизмах, показывает, что деформации и контактные давления распределяются по поверхностям трения неравномерно. Неравномерное распределение контактного давления на поверхности трения приводит к неравномерному изнашиванию элементов пары трения. Таким образом, ресурс пары трения определяется, в частности, распределением давления в зоне контакта. В связи с этим к проектируемому узлу трения предъявляют требования минимальной неравномерности распределения давлений на поверхностях трения сопрягаемых деталей.

Повышением работоспособности пар трения можно управлять конструкторско-технологическими методами, в частности, изменением геометрии элементов трибосопряжения. В настоящее время существует весьма мало работ, где получены решения задач механики по построению такой геометрии поверхности элементов контактной пары, чтобы созданное поле напряжений препятствовало разрушению материалов деталей пары трения. Решение этой задачи будет способствовать увеличению работоспособности трибосопряжений.

Разработана математическая модель контактного взаимодействия и изнашивания для пары «втулка–вал», позволяющей рассчитать оптимальную функцию перемещений точек внешнего контура втулки при заданных режимах работы пары.

Проведен теоретический анализ по определению функции перемещений точек внешней поверхности втулки, которая обеспечивала бы минимизацию распределения контактного давления. Таким образом, выбором перемещений точек наружной поверхности втулки можно добиться снижения концентрации давления. Использовался минимаксный критерий. В качестве управляющих переменных принимались параметры функции перемещений точек внешнего контура втулки. В качестве математической модели принимались дифференциальные уравнения термоупругости. Для определения контактного давления и распределения напряжений в элементах фрикционной пары необходимо рассмотреть износоконтактную задачу о вдавливании вала в поверхность втулки.

Пусть к внутренней поверхности втулки на некотором неизвестном участке прижимается вал. Считается, что в точках наружной поверхности втулки имеются некоторые перемещения. Принято, что выполняются условия плоской деформации. Втулку и вал моделируем изотропным упругим однородным телом. Внутренний контур втулки считается близким к круговому. Режимы работы контактной пары, в которой могут возникнуть остаточные деформации, считаются недопустимыми. Условия нагружения полагаются квазистатическими. Так как частота движения вала достаточно велика, рассматриваем задачу определения температуры как стационарную.

Представим границу внутреннего контура втулки в виде

$$r = \rho(\theta), \quad \rho = R + \varepsilon H(\theta),$$

где $\varepsilon = R_{\max}/R$ – малый параметр; $R_{\max}$ – наибольшая высота выступа (впадины) неровности профиля внутреннего контура от окружности, R – внутренний радиус втулки.

Не уменьшая общности рассматриваемой задачи оптимизации, принимаем, что функция $H(\theta)$ может быть представлена в виде ряда

Фурье $H(\theta) = \sum_{k=0}^n (a_k^0 \cos k\theta + b_k^0 \sin k\theta)$. Аналогично, внешний контур

вала близок к круговому и может быть представлен в виде

$$r = \rho_1(\theta), \quad \rho_1 = R' + \varepsilon H_1(\theta), \quad H_1(\theta) = \sum_{k=0}^n (a_k^1 \cos k\theta + b_k^1 \sin k\theta).$$

Методом линейного программирования решена задача минимизации контактного давления в паре трения втулка-вал. Показано, что с помощью выбора функций перемещений точек наружного контура втулки фрикционной пары, можно управлять (минимизировать) распределением контактного давления в паре трения. Это позволяет повысить работоспособность пары втулка-вал.

В рассматриваемой задаче наиболее эффективным методом оказался симплексный алгоритм. Численный расчет выполнялся методом последовательных приближений [1] и симплексным алгоритмом. В рассматриваемой задаче имеется много свободных параметров. Это различные теплофизические и механические характеристики материалов, параметры качества поверхности внутреннего контура втулки, геометрические размеры втулки и вала. Предлагаемый метод оптимизации контактного давления в паре трения втулка-вал может быть распространен на другие конструкции узлов трения.

Литература

1. Мирсалимов В.М. Неодномерные упругопластические задачи. – М.: Наука, 1987.

*Барабаш М.Ю., Влайков Г.Г., Гринько Д.О.,
Колесніченко А.А., Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю.,
Рябов Л.В., Мартинчук В.Є. Технічний центр НАН України,
Київ, Україна*

ЗАРОДКОУТВОРЕННЯ НАНОЧАСТИНОК СУЛЬФІДУ КАДМІЮ НА ПОВЕРХНІ ЕЛЕКТРЕТНОГО ТЕМПЛАТУ

Метою роботи є створення розгалуженої системи електропровідних монокристалів CdS для використання їх у якості матриці для нанокомпозитів, емітерів сонячних елементів та інших фотовольтаїчних пристроїв, елементів мікроелектромеханічних приладів, матричних світловодів та фотонних кристалів.

Проблема вирощування систем монокристалів полягає у використанні групових методів для створення умов зародкоутворення на початковій стадії процесу та підтримці однакових умов росту монокристалів на всій поверхні підкладки, регулюванні стехіометрії та допуванні нанокристалів [1]. Здійснено вирощування розгалуженої системи електропровідних монокристалів CdS. Порівнюються морфологічні особливості та умови росту нанокристалів CdS за механізмами епітаксialного росту та конденсації пар-рідкий зародок-кристал. Нанокристали CdS одержували осадженням із газової фази продуктів сублімації CdS на підкладці із попередньо нанесеними зародками золота. Ріст кристалів відбувався у квазізамкненому об'ємі, розміщеному у високотемпературній вакуумній печі, що змонтована на базі вакуумної камери ВУП-5М (рис. 1).

У камері знаходилась попередньо напилена на підкладинку золота плівка. За допомогою двохзонної вакуумної пічки створюється градієнт температур ($T_2 > T_1$), який використовується для одночасного дослідження процесів росту нанокристалів за різних умов у залежності від T . Процес осадження відбувався протягом певного часу $t_{\text{осадж.}}$ за $T_2 = 650^\circ\text{C}$. Тиск залишкових газів у камері не перевищував 10^{-3} Па. Вирощування нанокристалів CdS з огляду на умови осадження проводили на

відносно термостійкі підкладки кварцу, кварц/ SnO_2 монокристалічного кремнію. Зародки золота у вигляді острівців на плівці товщиною 50–20 нм наносили термічним напиленням у вакуумі. Рекристалізація золота відбувалась у вакуумі безпосередньо під час розігріву вакуумної печі із підкладками. Підкладки із шаром нанокристалів досліджували після охолодження та розвакуування печі методами скануючої електронної мікроскопії за допомогою приладу JXA-8200 (JEOL). Характерний вид нанокластерів золота на поверхні кварцової підкладки наведено на рис.2. На зображенні (рис. 2, *a*) видно зародки золота, організовані темплатом; для порівняння дві області острівцевої плівки золота після рекристалізації: впорядкована темплатом та невпорядкована. На рис 2, *б* наведено зображення золотих нанокрапель з типовим розміром 50–300 нм та середньою відстанню 300–900 нм.

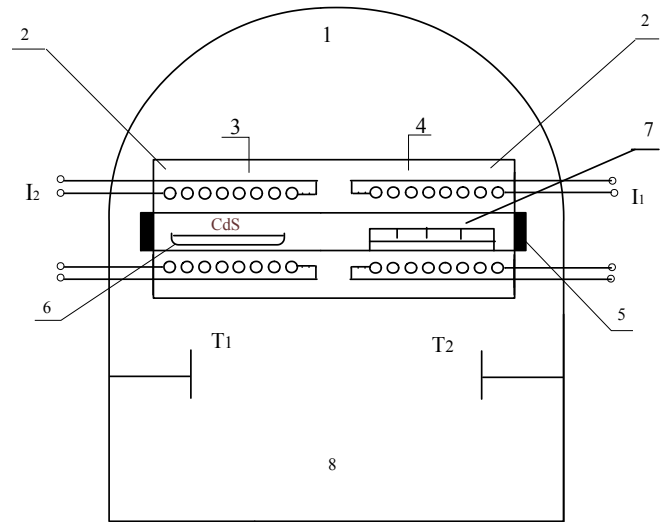


Рис. 1. Схема вакуумної камери установки ВУП-5М для вирощування нанокристалів у квазізамкненому об'ємі: 1 – вакуумна камера; 2 – вимірювальна термопара; 3, 4 – багатозонна вакуумна піч; 5 – заглушки, що обмежують квазізамкнений об'єм синтезу; 6 – тигель з речовиною; 7 – зразки у градієнтній зоні; 8 – система відкачки ВУП-5

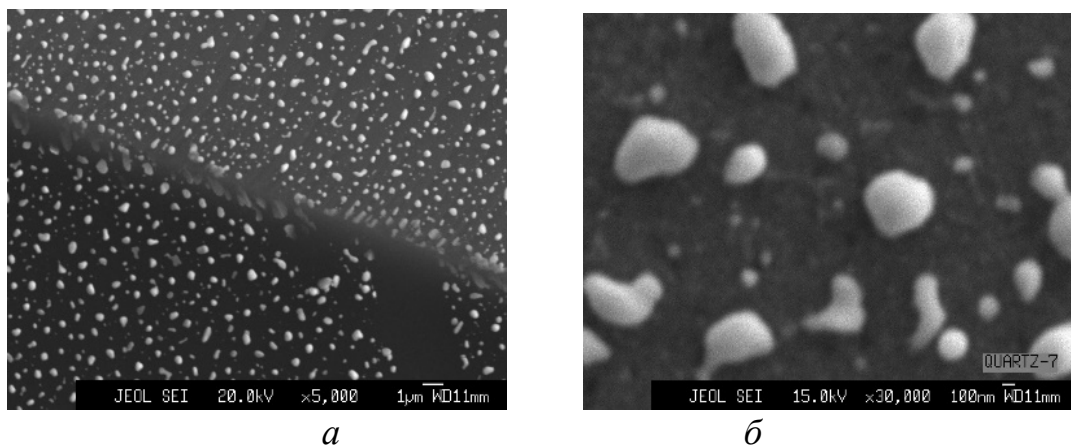


Рис. 2. Нанокластери золота на поверхні кварцової підкладки

Однією із проблем на шляху до реалізації цих проектів є створення доступної технології виготовлення періодичних та квазіперіодичних

одно-, двох- та трьохвимірних структур метал-діелектрик, органічні або неорганічні наночастинки-діелектрик, метал-напівпровідник. Така задача ефективно вирішується темплатними методами [2]. Розробку технології виготовлення наноструктурованих метал-діелектричних підкладок для оптичних сенсорів, що використовують суттєве збільшення сигналу в дослідженнях видимого і інфрачервоного лінійного та нелінійного поглинання, комбінаційного розсіювання, одержаного для адсорбованого на поверхні наноструктур аналізу, можна розглядати як один із найбільш перспективних напрямків застосування технології темплатів.

Іншим напрямком використання темплатних методів організації наноструктур є вирощування впорядкованих масивів нанокристалів. Розроблено методику [3] виготовлення масивів нанокристалів CdS зі характерними розмірами діаметру 50–200 нм, довжиною 0,3–10 мкм осадженням із газової фази та проведено дослідження за допомогою SEM. Визначено, що ріст кристалів відбувається за умов високих пересичень $\mu/kT = 2,3\text{--}3,5$. Показано, що діаметр критичного кристалу при таких пересиченнях становить близько 20 нм, а дифузійна довжина адсорбованих молекул – кілька мікронів. Експериментально реалізовано як ріст сфалеритних нанокристалів за механізмом пар-рідина-кристал на темплаті організованих золотих нанокластерів, так і епітаксійний ріст на поверхні нанокластерів слюди за механізмом пар-кристал.

Література

1. Формування наноструктур темплатним синтезом / Г.Г. Влайков, М.Ю. Барабаш, М.А. Заболотний и др. – К. : ІМФ НАНУ, 2010. – 230 с.
2. Барабаш М.Ю., Гринько Д.О., Сперкач С.О. Формування наноструктур на темплатах випромінюванням із видимого діапазону. – К. : ІМФ НАНУ, 2015. – 202 с.
3. Барабаш М.Ю., Гринько Д.О. Осадження сполук карбазолу з газової фази: молекулярні розчини з органічними акцепторами, нанокompозити з неорганічними напівпровідниками та золотом, гетероструктури // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології – 2012. – Т.10, № 3. – С. 595–608.

*Беженар Н. П., Девин Л.Н., Стахнив Н.Е.,
Рычев С. В., Романенко Я.М.* Институт сверхтвердых
материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ cBN–Al

На мировом рынке поликристаллические материалы кубического нитрида бора (PCBN) в основном разрабатывают и выпускают для инструментального назначения в виде режущих пластин. Вибрации являются одной из причин, которые ограничивают использование этих материалов для обработки резанием. Как правило, колебания возникают в зоне резания и приводят к ускоренному износу инструмента [1]. Поэтому важно, чтобы поликристаллические материалы обладали высокими демпфирующими свойствами.

Для изучения демпфирующей способности исследуемых образцов было разработано измерительное устройство, у которого в качестве базы использовали измерительную стойку от прибора «Звук–107» [2], состоящее кроме стойки из анализатора спектра СК4-59, широкополосного усилителя УЗ-32, согласующего усилителя, аналогово-цифрового преобразователя ADA 1406 и персонального компьютера. Электрические синусоидальные колебания создавали с помощью генератора качающей частоты анализатора спектра СК4-59. Затем их усиливали с помощью усилителя УЗ-32. Далее электрические колебания возбуждали пьезоэлектрический излучатель стойки «Звук-107», где они преобразовывались в механические. Между излучателем и приемником стойки «Звук-107» устанавливали экспериментальный образец. Возбуждаемые в образце колебания воспринимались пьезоэлектрическим приемником стойки, усиливались и подавались на вход анализатора спектра СК4-59, где измеряли резонансные кривые. Сигнал с анализатора спектра попадал на аналогово-цифровой преобразователь ADA 1406, а затем на персональный компьютер, где проходила его последующая обработка. Обработку экспериментальных данных проводили в программном пакете PowerGraph 3.3 Professional.

Система предназначена для определения демпфирующих характеристик (логарифмического декремента колебаний δ и добротности Q) [3]. Исследования демпфирующих характеристик базируются на

методе резонансных кривых. В образце, имеющем форму диска, возбуждали вынужденные колебания в окрестности резонанса и получали экспериментальные зависимости величины вынужденных колебаний от частоты. В результате получали значения резонансной частоты f_0 и ширины резонансного пика, определенного на высоте $0,707 \cdot U_{max}$ (U – амплитуда сигнала).

Разработанная конфигурация системы (её аппаратная и программная реализация) позволила решать все практические задачи по сбору, анализу и представлению в удобной форме результатов при изучении демпфирующих характеристик материалов.

Было исследовано влияние зернистости исходных порошков кубического нитрида бора на демпфирующие свойства композитов, полученных при спекании порошков системы cBN-Al.

Спекания проводилось в стальном аппарате высокого давления «наковальня с углублением» с диаметром лунки 40 мм. Исходные порошки – кубический нитрид бора марки КМ зернистостью от 3/2 до 60/40 мкм производства концерна «АЛКОН» НАН Украины и порошок алюминия марки АСД, фракция – 40.

В качестве исходной шихты исследовали 5 вариантов смеси:

- а) КМ 3/2 + Al - 40 (9:1);
- б) КМ 3/2 + КМ 60/40 + Al - 40 (7:2:1);
- в) КМ 3/2 + КМ 60/40 + Al - 40 (9:9:2);
- г) КМ 3/2 + КМ 60/40 + Al - 40 (2:7:1);
- д) КМ 60/40 + Al - 40 (9:1).

Удельная поверхность порошка cBN марки КМ 3/2 составляла $S = 2,80 \text{ м}^2/\text{г}$, а порошка КМ 60/40 $S = 0,11 \text{ м}^2/\text{г}$. Удельная поверхность порошка cBN для каждого варианта шихты приведены в табл. 1. Как видно, с увеличением доли крупной фракции удельная поверхность порошков cBN уменьшается.

Таблица 1 – Удельная поверхность порошков cBN, фазовый состав композитов, логарифмический декремент колебаний

Шихта	а	б	в	г	д
$S, \text{м}^2/\text{г}$	2,80	2,2	1,46	0,71	0,11
Фазы	cBN, AlN	cBN, AlN	cBN, AlN,	cBN, AlN, AlB ₂	cBN, AlN, AlB ₂
$\delta \cdot 10^{-3}$	$1,19 \pm 0,05$	$1,10 \pm 0,05$	$1,08 \pm 0,05$	$0,84 \pm 0,05$	$0,84 \pm 0,1$

Спекания происходило в две стадии:

- 1) пропитка Al при $p = 2,5$ ГПа, $T = 1100$ К, 30 с,
- 2) завершающее спекание при $p = 4,2$ ГПа, $T = 1750$ К, 240 с. Фазовый состав композитов определяли методом рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3».

В табл. 1 приведены результаты измерений логарифмического декремента колебания δ для разных удельных поверхностей шихты cBN-Al. Из анализа результатов в табл. 1 следует, что чем больше удельная поверхность порошка, тем выше логарифмический декремент колебания. Максимальные значения декремента колебаний получены для композитов, полученных из порошков cBN с размером зерен 2–3 мкм.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / Под общ. ред. Н. В. Новикова. – Обработка материалов лезвийным инструментом. / Под ред. С. А. Клименко. – К. : ИСМ им В.Н. Бакуля; ИПЦ «Алкон» НАНУ, 2006. – Т. 5. – 316 с.
2. Application of acoustic methods for the monitoring of products made of hard alloys / L.M. Devin, V.P. Bondarenko, O.A. Osadchiy, T.V. Nimchenko // Materials Science. – 2009. – 45 (3). – P. 392–398.
3. Глаговский Б.А., Ройтштейн Г.Ш., Яшин В.А. Контрольно-измерительные приборы и основы автоматизации производства абразивных инструментов: Учеб. пособие. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 278 с.

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

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ – КЛЮЧ ДО СТВОРЕННЯ ЗДОРОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Актуальність проблем прийняття ефективних управлінських рішень щодо функціонування підприємств в умовах підвищеного ризику, який є невід’ємною характеристикою сьогодення ринкових відносин, стрімко зростає. Це в повній мірі стосується зварювальних виробництв, оскільки підприємства, як постачальники стратегічної

сировини для військового виробництва, через зовнішні політичні ризики зазнали втрати традиційних споживачів продукції.

Тому перед українськими зварювальними виробництвами поставило завдання якнайшвидшого впровадження європейських стандартів з управління і організації виробництва з метою приведення відповідності до міжнародних та європейських вимог, які базуються на ризик-орієнтованому підході.

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

Важливою складовою інтеграції з ЄС є питання охорони праці та збереження здоров'я працівників. Це один ключових моментів економічної інтеграції з ЄС, що важливі для всіх зацікавлених сторін, задіяних у процесі створення матеріальних цінностей і передусім для працівників, які зазнають впливи небезпек, що пов'язані з виробничими процесами, такими, як зварювальне виробництво.

Розвиваючись в рамках ринкової економіки, уряди країн ЄС повинні бути впевнені, що ринок і економіка будуть розвиватися відповідним чином – без нанесення шкоди здоров'ю людей, а також без травматизму і нещасних випадків. Ці положення в повній мірі стосуються і зварювальних виробництв. Має бути прозора гарантія: якщо щось і сталося, то потерпілі будуть надійно захищені у рамках системи соціального державного захисту в Україні.

Оцінювання ризиків дуже важливе і для бізнесу – якщо роботодавці дбають про безпечні умови праці, вони гарантовано отримують постійний розвиток – як зварювального виробництва так і бізнесу. Як показали час і досвід – ключовий момент цієї інтеграції полягає в тому, що всі нормативні документи (НД), які стосуються безпечних умов праці в зварювальному виробництві, єдині для всіх країн.

Виробничі ризики, з якими стикаються роботодавці з часом змінюються.

Наприклад, раніше однією з найбільших ризик – небезпечних галузей в ЄС була вуглевидобувна. На сьогодні її майже повністю реформували, фактично скоротили, тому неактуальними стали і ризики вуглевидобування.

Як свідчить статистика має місце зростання нещасних випадків у сфері технічних послуг. Як показали дослідження в останні найбільш високі ризики несуть так звані **складні клієнти**. Це стало

предметом серйозного обговорення і напрацювання нових підходів в ЄС до вирішення даної проблеми.

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

Наступний виклик для нас -- зміна природи зайнятості в Україні. Люди змушені дуже часто змінювати місце роботи в різних державах. На запит експертів майже десять процентів підприємств звітували про те, що більша частина їхніх працівників виконує свою роботу після зміни або вдома, де взагалі не може бути ніякого контролю за працюючими.

З іншого боку, робоча сила в Європі старішає. Більше половини робочих місць в ЄС займають люди у віці понад 55 років. Якщо говорити про перспективу очікується, що умови і природа зайнятості будуть змінюватися в майбутньому значно більше ніж зараз.

Як ЄС справляється з усіма ризиками та викликами? Завдяки законодавчій базі.

Директива 89/391/ЄЕС «Про введення заходів, що сприяють поліпшенню безпеки та гігієни праці працівників - це рамкова директива, яка містить вимогу до всіх роботодавців оцінювати ризики та вживати заходів для попередження нещасних випадків і соціального захисту працівників. Також значну роль у цьому для постановки системи управління ризиками грають ДСТУ ISO 9001:2015, ДСТУ ISO 31000, ДСТУ ISO 31010.

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

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

Якщо підсумувати зазначене, оцінювання ризиків є ключовим моментом для створення здорових, безпечних робочих місць в зварювальному виробництві, які складаються з визначення небезпек, існуючих ризиків, шляхів їх запобігання. Виходимо з того, що технологічно неможливо уникнути всіх ризиків, у тому числі всіх ризиків на зварювальному виробництві. Але потрібно провести плідну колективну роботу щодо їх запобігання і усунення, і не тільки на конкретному робочому місці, а й на виробництві загалом (рис. 1).

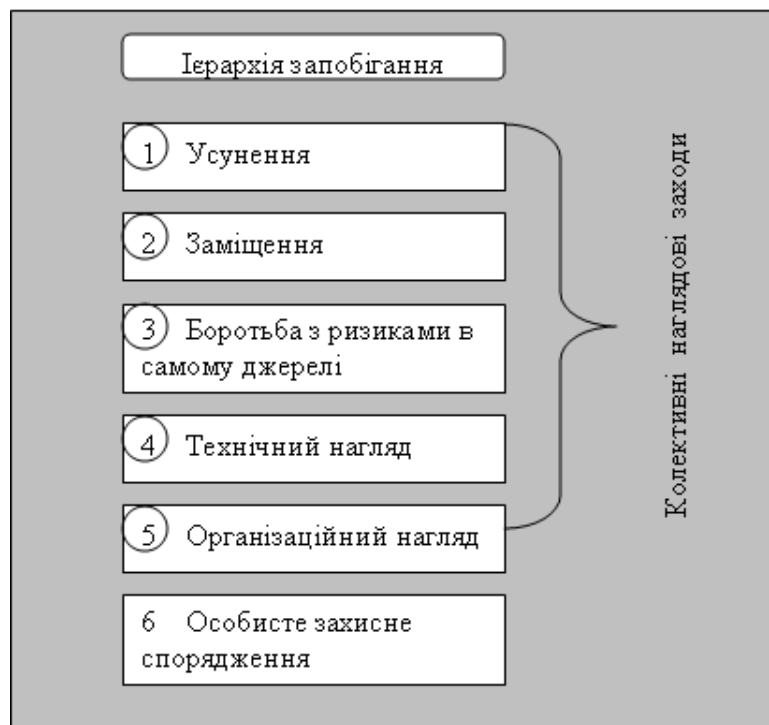


Рис. 1. Схема наглядних заходів

Наступний напрямок запобігання нещасним випадкам на зварювальному виробництві – навчання з питань охорони праці, яке потрібно проводити для всіх без випадку працівників підприємства. Навчальний процес включає також консультації. Запобігання ризикам вимагає консультації, які повинні проводити не тільки менеджмент чи управлінці, але і досвідчені працівники,

які добре знають з чим саме вони зустрічаються щодня. Не треба забувати і про засоби індивідуального захисту.

Останнім часом все частіше окремі підприємства проводять оцінювання ризиків. При аналізі робочих місць з найкращими практиками безпеки праці та здоров'я на перший план впливають два ключові моменти – лідерство і бажання менеджменту вживати запобіжних заходів, а також безпосередня участь працівників зварювального виробництва у впровадженні цих заходів.

Країни ЄС по-різному впроваджують на практиці зазначену рамкову директиву. Політика безпеки існує на 90 % підприємств країн-членів ЄС, але різниця полягає в тому, яким чином підприємства використовують зовнішні ресурси для оцінювання ризиків. Політика частини підприємств ЄС щодо запобігання нещасним випадкам

на виробництві включає внутрішнє оцінювання ризиків на робочому місці. На інших підприємствах для проведення оцінювання ризиків на робочих місцях залучають зовнішніх виконавців набагато частіше. Це важливий момент, але треба пам'ятати, що ніхто не знімав з роботодавців їх обов'язку дотримуватися правил безпеки праці. Оцінювання ризиків на виробництві роботодавцями – найпростіший шлях уникнути ризики.

Дуже важливий момент щодо деяких ризиків, які важко оцінити: скільки буде коштувати їх усунення і як це ув'язується з тим, окупиться їх відсутність чи ні.

Таким чином, успіх в оцінюванні та мінімізації ризиків гарантовано тим підприємствам, де поряд з хорошим законодавством мають місце якісне інформаційне забезпечення, впровадження механізмів і поширення кращих практик з оцінювання ризиків.

Література

1. Бондаренко Ю.К. Оцінка ризику експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення випробувань методами НК і ТД // *Неруйнівний контроль та технічна діагностика*. – 2017. – № 3. – С. 56–63.

2. Development of Methods of Risk Detection Assessment in the Welding / Yu. Bondarenko, Yu. Loginova, K. Artyuh et al. – LEP LUMBERT Academic publishing, 2017. – 98 p.

3. Бондаренко Ю.К. Ризик експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення випробувань // *Сварщик*. – 2017. – №3. – С. 28–33

4. Бондаренко Ю.К. Визначення ризику експлуатації зварних конструкцій на підставі моніторингу процесів управління якістю і проведення випробувань методами НК і ТД // *Мат. наук.-техн. семінару «Нові технології неруйнівного контролю і можливості їх практичного застосування в машинобудуванні і суміжних галузях»*, 22.11.2017, м. Київ. – м. К.: ІЕЗ НАН України, 2017.

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

МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРИВОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Технологические комплексы послойного синтеза изделий из композиционных материалов многочисленны и разнообразны, представляют собой средства технического оснащения, которые обеспечивают эффективное и бесперебойное производство изделий, соблюдение условий технологического процесса, выполнение вспомогательных производственных мероприятий. В качестве механизмов перемещения технологического комплекса применяются приводы горизонтального и вертикального движения рабочего органа. Привод механизмов перемещения выполнен в виде зубчатой рейки, тем самым проскальзывание сведено к минимуму.

Привод вертикального движения осуществляет позиционирование рабочего органа относительно рабочей точки, т.е. там, где осуществляется начало подачи смеси, и подъем к исходному положению по завершению печати слоя. Положение вертикальной составляющей рабочего органа постоянно в течение печати каждого слоя и контролируется датчиком положения двигателя. В связи с широким ассортиментом используемых композитных материалов толщина печатаемого слоя различна, а, следовательно, положение рабочей точки разное, что учитывается при подготовке управляющей программы.

Привод горизонтального движения позиционирует рабочий орган в горизонтальной плоскости по заданной траектории печатаемого слоя, при этом открывается и закрывается клапан подачи смеси на заданных участках траектории, а привод подающего устройства осуществляет требуемое дозирование смеси. Движение данного привода контролируется датчиком положения и согласуется с управляющей программой.

Рассмотрим электропривод осуществляющий требуемое позиционирование в горизонтальной плоскости рабочего органа подачи смеси и построим имитационную модель электропривода.

Основными требованиями, предъявляемыми композиционным электроприводам, являются:

- точность позиционирования, определяемая обычно как полоса расстояний по обе стороны от заданной позиции, в которой должен быть остановлен исполнительный орган;
- стабильность, оцениваемая как повторяемость результатов по точности при многократной отработке одного и того же заданного перемещения;
- производительность, определяемая временем отработки заданного перемещения и временем позиционирования и экономичность, оцениваемая капитальными и эксплуатационными затратами.

Стабильность позиционирования определяется вероятностным характером процессов, имеющих место в электроприводе, датчиках и системе управления. Она дает представление об их свойствах при эксплуатации позиционного электропривода с точки зрения точности работы системы по отработке одного и того же перемещения. Это связано с тем, что позиционный электропривод находится под воздействием возмущений, являющихся случайными функциями. Основными возмущениями являются случайные изменения статического момента нагрузки электропривода и вносимые им случайные изменения параметров кинематических цепей, передающих устройств электропривода и связей датчиков с исполнительным органом или электроприводом. Сюда же относятся случайные изменения моментов инерции, зависящие от загрузки механизма и перемещаемых масс рабочей машины.

Рассматриваемое оборудование выдавливает композиционный материал на траектории движения, таким образом, дополним список требований к приводам тем, что необходимо выдавать определенную порцию вязкой массы, а также не допускать выхода ошибки позиционирования за установленные пределы.

Сравнительный анализ позволяет установить тип двигателя, наиболее полно удовлетворяющий предъявляемым требованиям. Удовлетворяют заявленным требованиям синхронный, асинхронный и шаговый двигатели. Поэтому проанализируем возможность применения приводов на их основе для решения поставленных задач.

В синхронных машинах с постоянными магнитами вместо обмотки возбуждения применяют блок постоянных магнитов, изготавливаемый из магнитотвердого материала – кобальтовой стали, а также различных сплавов, обладающих большой коэрцитивной силой. Двигатели с постоянными магнитами по сравнению с другими типами синхронных двигателей обладают хорошими энергетическими показате-

лями, повышенной устойчивостью работы в синхронном режиме и высокой стабильностью частоты вращения. Недостатком их является сравнительно большая стоимость, обусловленная дороговизной материала, из которого изготавливают постоянные магниты.

Благодаря простоте, низкой стоимости и высокой надёжности широкое применение получили асинхронные двигатели. Популярность асинхронных двигателей связана с простотой их эксплуатации, дешевизной и надёжностью. Асинхронный электродвигатель, в общем случае обладает высокими техническими показателями, такие как соотношение габаритов и мощности электродвигателя, большой кратностью пускового момента, способности разгоняться и поддерживать управляемость на частотах выше номинальной.

Сравнивая два типа двигателей, отметим высокий КПД обоих, но, как правило, синхронная машина обладает КПД несколько выше. Также синхронный двигатель обладает большей перегрузочной способностью и другими электромеханическими характеристиками. Касаясь, технологических требований к установке отметим также, что система с синхронным электродвигателем обладает меньшей ошибкой позиционирования. Таким образом, синхронный двигатель наиболее подходит для удовлетворения требований, предъявляемых к приводу движения в горизонтальной плоскости. Возможное применение асинхронного двигателя в совокупности с преобразователем частоты может не удовлетворить предъявляемым требованиям, и в общем случае необходимо завышать мощность двигателя для создания нужного пускового момента. К тому же асинхронный двигатель такой же мощности обладает худшими характеристиками, чем синхронный. Одним из основных критериев для выбора двигателя является пусковой момент, чтобы рабочий орган разогнался на ограниченном участке до рабочей скорости. Важным является способность системы поддерживать постоянную скорость двигателя на интервалах выдавливания композиционных материалов на протяжении всей траектории движения рабочего органа машины.

Шаговые двигатели также широко применяются высокоточных системах позиционирования со строго дозированными перемещениями и фиксацией своего положения в конце движения. Это объясняется тем, что указанные двигатели позволяют преобразовать управляющий импульс в фиксированный угол поворота вала или фиксированное линейное перемещение без датчика обратной связи. Последнее обстоятельство существенно упрощает систему управле-

ния механизмом и увеличивает ее надежность, так как сокращается количество электронных элементов. Дискретный электропривод с шаговым двигателем естественным образом сочетается с цифровыми управляющими устройствами, что позволяет успешно использовать его в станках с числовым программным управлением, в промышленных роботах и манипуляторах.

На скоростях выше номинальных и повышенных нагрузках у двигателей начинает проявляться эффект потери шагов. Потеря шагов возможна также в случае каких-либо внешних воздействий: ударов, вибраций, резонансов и т.п. Современные системы управления шаговыми двигателями позволяют избавиться от этого общего недостатка шаговых двигателей применением обратной связи. В двигателе имеется датчик положения, по которому в случае несоответствия делается коррекция устраняющая эффект потери шагов. В случае принудительной остановки шагового двигателя, преобразователь частоты мотора должен правильно среагировать на данную остановку. В противном случае по обратной связи подается сигнал на доработку не пройденного расстояния, повышается ток на обмотках, двигатель может перегреться и сгореть. Принудительная остановка шагового двигателя не вызывает у него никаких повреждений. Шаговые двигатели – безщеточные, поэтому единственными изнашиваемыми деталями в конструкции являются подшипники. Это позволяет считать их двигателями высокой надежности и не требующих обслуживания долгий срок. Ограничением в использовании шаговых двигателей являются мощность и соответственно скорость.

Таким образом, сравнительный анализ различных типов электродвигателей для механизмов перемещения показал, что каждый из двигателей занимает свою рациональную область использования. Асинхронный электродвигатель применяется для тягового, силового привода. Шаговый двигатель используется в маломощных системах, таких как топливоподача, расход материала и т. д. В наибольшей степени удовлетворяет требованиям технологического комплекса синхронный электродвигатель, который наряду высокими электрическими и электромеханическими показателями обладает лучшей управляемостью и точностью позиционирования.

*Бородавко В.И., Пынькин А.М., Хейфец М.Л.,
Сенють В.Т., Грецкий Н.Л., Антончик К.А.*
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАСКРОЙНОМ ОБОРУДОВАНИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов требуется рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия.

С целью расширения технологических возможностей раскройного оборудования для листовых материалов разработан 5-координатный порталный манипулятор, обеспечивающий резку под углом криволинейных поверхностей поворотной головкой.

Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, существенно расширяет возможности технологических комплексов при обработке толстолистовых заготовок и обеспечивает переход к широкому применению технологий «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий.

При изготовлении детали, с использованием автоматизированного комплекса, оборудованного поворотным 5-координатным манипулятором, исходной информацией служит твердотельная модель изделия, подготовленная в графическом редакторе – Creo, КОМПАС 3D, SolidWorks, Unigraphics и т.п. Изделие состоит из ряда фигурных пластин. Контур каждой пластины будет формиро-

ваться на автоматизированном комплексе с 5-координатным манипулятором.

Для программирования обрабатываемого контура, необходимо использовать САМ модуль, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), и разработанный для конкретной системы ЧПУ автоматизированного комплекса, постпроцессор.

Для более точного представления формы изделия, с учетом его сложной геометрии, модель разбивается на слои. При обеспечении заданной точности воспроизведения поверхности сечения получаются разной толщины.

После чего, для правильного выбора количества листового материала, необходимо произвести оценку толщин всех сечений. Сечения с одинаковой толщиной объединяются в группы. Каждая группа сечений раскладывается на листовом материале необходимой толщины. Для этого используется графический редактор.

В каждом сечении делается как минимум по два технологических отверстия для сборки.

Используя САМ-пакет (Hypermill; Unigraphics; Turbonest и др.) готовится программа обработки для каждого контура сечений. Написание кода программы зависит от используемой, в автоматизированном комплексе, системы ЧПУ (Sinumerik; Fanuc; Heidenhain). Программирование осуществляется при помощи G-кода. Обработка производится в 5 осях: линейное перемещение манипулятора по координатным осям и углы поворота головки под разделку кромок и вращения при обходе по контуру.

Действия повторяются для каждой группы сечений, а полученные пластины последовательно собираются в готовое изделие.

Таким образом, анализ получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы оперативного макетирования и производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов для масштабных макетов и легко разрушаемых прототипов деталей машин, разработки информационных технологий их моделирования.

Для технологии LOM (Laminated Object Manufacturing) – послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной толщины, учитывающий разделку их кромок под углом.

Рассмотрено компьютерное проектирование процессов листового раскроя и послойной сборки, на примерах формирования изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе.

Для управления процессом листового раскроя концентрированными потоками энергии на автоматизированном комплексе, целесообразно использовать дополнительный модуль, реализованный в качестве 5-координатного портального манипулятора, обеспечивающего резку под углом.

*Бугаенко А.А. ЧП "Весовая компания МІКА",
Днепр, Украина*

ОПЫТ РАБОТЫ ЧП "ВЕСОВАЯ КОМПАНИЯ МІКА" НА МИРОВОМ РЫНКЕ

Частное предприятие "Весовая компания МІКА", созданное 18 июля 1991 года, занимается созданием весоизмерительных и весодозирующих средств и систем автоматизации на их основе. Научной базой компании являются работы ее учредителя в области проектирования средств измерения движущихся масс в Днепропетровском горном институте и средств измерения центра тяжести изделий – в научно-производственном объединении "Орбита".

В свое время диссертация владельца компании Георгия Бугаенко была посвящена разработке и исследованию электронных конвейерных весов с дискретным выходом. По ее результатам в 1975 году, впервые в практике союзного весостроения, электронные конвейерные весы были приняты для коммерческого расчета, причем между двумя крупнейшими металлургическими предприятиями СССР: Криворожским коксохимическим заводом им. Коротченко и металлургическим комбинатом КРИВОРОЖСТАЛЬ. Это дало возможность отменить дорогостоящую процедуру передачи кокса с одного завода на другой через вагонные весы, и принесло более 1 млн рублей реального годового экономического эффекта.

За период с момента создания до настоящего времени компанией выпущено более 1300 проектов весов и дозаторов различного назна-

чения, а также программное обеспечение для автоматизированных систем, обеспечивающих учет, дозирование и контроль продукции.

Наряду с выпуском традиционных весовых и дозирующих устройств и систем (конвейерные весы, вагонные и автомобильные весы для взвешивания в статике и движении, весы для фронтального и вилочного погрузчиков, весы крановые, платформенные, системы дозирования компонентов смесей, системы приемки продукта, дозаторы дискретного действия) компания разработала большое количество специальных средств и систем взвешивания и дозирования.

Так, например, компанией:

- выпущен эскизный проект весового оборудования для дозированной заправки топливом ракет-носителей в рамках международного Бразильского проекта космического старта ЦИКЛОН-4;
- выполнена для Мариупольского завода им. Ильича модернизация финских вагонных весов ТАМТРОН, причем достигнута точность взвешивания, превышающая показатели производителей;
- на ОАО «АЗОТ», г. Черкассы, выполнено строительство «под ключ» высокотехнологичной системы автоматизированного учета движения автотранспорта, оснащенной средствами видеонаблюдения и анализа ситуаций;
- на Запорожском алюминиевом комбинате разработана и введена в эксплуатацию автоматизированная система учета горячего металла на базе крановых весов;
- специально для Краматорского машиностроительного завода разработаны и изготовлены две модификации тяжелых крановых весов – на нагрузки 50 и 80 т;
- для ряда предприятий строительной индустрии разработана и внедрена система автоматизированной загрузки железнодорожных вагонов посредством конвейерных весов;
- для предприятий, имеющих большой объем перевалки (морские порты, речные порты, металлобазы и пр.) разработаны весы для канатного грейфера и весы для гидравлического грейфера, обеспечивающие взвешивание и учет продукта без потери времени на его перевеску.

Компания обеспечивает замкнутый цикл создания изделий – от обследования объектов до метрологической аттестации и ввода в эксплуатацию изготовленного оборудования.

Выпускаемая компанией продукция находит широкое применение на предприятиях различных отраслей промышленности. За период с 1991 года по настоящее время разработанные и изготовленные ком-

панией изделия и системы нашли применение на предприятиях Украины, России, Таджикистана, Узбекистана, Казахстана, Латвии, Литвы, Молдовы и Румынии.

Основными отраслями, в которых используется наша продукция, являются: аграрный и горно-металлургический комплексы, дорожные службы, морские и речные порты, карьеры и щебеночные заводы, лесное хозяйство, металлургическая, мукомольная, сахарная промышленности, переработка и утилизация отходов, складское хозяйство, стройиндустрия, топливно-энергетический комплекс, угольная и цементная промышленности.

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

ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Шероховатость изделия определяет его важнейшие эксплуатационные свойства. Это, прежде всего, стойкость к истиранию, прочность и герметичность соединений, химическая стойкость, внешний вид. Параметры качества продукции должны измеряться при любом изменении режима работы обработки, быть статистически эффективными, т.е. измеряться с наибольшей точностью, что позволяет сократить до минимума дублирование опытов; быть максимально информационными; иметь физический смысл.

В процессе снятия стружки при виброабразивной обработке керамики участвуют отдельные зерна алмаза и абразива. При изучении характера разрушения поверхности керамики такими зернами установлено, что зерно в начале и в конце царапины оставляет четкий след без явных сколов по краям. Такое зерно, обладая достаточной твердостью, сразу же при контакте с материалом начинает срезать стружку. Средняя же часть царапины на всем протяжении имеет по краям значительные вырывы. Появление сколов при достижении определенной глубины внедрения зерна объясняется тем, что с увеличением глубины резания в работу вступают все новые кромки алмазного или абразивного зерна, в связи с чем, возрастают

силы микрорезания в зоне его контакта с образцом и наблюдаются, наряду с образованием высокодисперсной стружки, крупные участки вырывов.

Исследования показали, что при виброабразивной обработкой сверхтвердой керамики с использованием кроме абразивных алмазных порошков можно получить достаточно высокие показатели степени чистоты поверхности изделия.

Обрабатывались образцы ПСТМ на основе КНБ с формо-размерами размерами: квадратная пластина 12,7×12,7×3,0 мм (марка «Борсинит», твердость НК 38–40 ГПа) и цилиндр Ø7,5×5,0 мм (марка «Композит 05ИТ», твердость НК 18–20 ГПа).

В качестве рабочей среды использовались суспензии с порошком монокорунда зернистостью по ФЕПА F100 (по ГОСТ 12 зерно 150–125 мкм), порошком ультрадисперсного алмаза УДМ, микропорошком алмаза АСМ 20/14 и шлифпорошком алмаза АС6 100/80 в концентрации 5, 10 и 15%.

Исследования показали, что наиболее производительной при улучшении показателя шероховатости поверхности является виброабразивная обработка с использованием суспензии, содержащей порошок алмаза АСМ 20/14. Для установления влияния амплитуды вибрации были проведены эксперименты по вибрационной обработке керамической пластины. Измерение массы снятого металла производилось путем взвешивания образцов до и после обработки на аналитических весах ВЛА-200 с точностью до 0,0005 г.

Продолжительность каждого опыта составляла 10 минут и определялась с точностью ±30 с.

Для уменьшения влияния случайных факторов на полученные результаты, каждый опыт (при одинаковых условиях) повторялся 3–5 раз. Для оценки влияния исследуемого фактора использовалась среднеарифметическая величина выходного параметра.

Качество обработанной поверхности при виброабразивной обработке сверхтвердой керамики оценивалось с использованием бесконтактного интерференционного-D профилографа «Micron-alpha», предназначенного для регистрации и анализа микротопографии поверхностей методом обработки последовательности интерференционных картин в белом свете.

Анализируя полученные в результате замеров профилограммы, можно сделать вывод о том, что наиболее качественная обработка

имеет место при использовании смеси монокорунда и порошка алмаза АСМ в концентрации 15%. Средний показатель Ra 0,11

Поверхность образца, обработанная смесью монокорунда и порошка алмаза АСМ в концентрации 15%, выглядит более ровной, без ярко выраженных экстремумов в отрицательном и положительном направлении. Графические 3-D изображения подтверждают, что применение смеси монокорунда и порошка алмаза АСМ в концентрации 15% приводит к тому, что рельеф поверхности изделий соответствует наименьшей шероховатости обработанной поверхности.

*Варюхно В.В., Довгаль А.Г., Данилейко О.В.,
Евсюков Е.Ю. Національний авіаційний
університет, Київ, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИПРОБУВАНЬ СІДЕЛ КЛАПАНІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Математичну обробку результатів випробувань проводили із застосуванням методики математичного планування експерименту, яка дозволяє використовувати математичний апарат не тільки при обробці результатів дослідження, а й при підготовці та проведенні дослідів, а також істотно скоротити час при виконанні дослідницької роботи. Для цього здійснювали обчислення коефіцієнтів регресії для некомпозиційного ротатбельного плану другого порядку для числа факторів $K = 2$. Для виконання умови ортогональності базисних функцій, за допомогою яких визначалися коефіцієнти регресії і для зручності розрахунку переходимо від істинних значень параметрів до кодових (табл. 1). Таким чином, була складена матриця планування (табл. 2) для центрального некомпозиційного ротатбельного плану 2-го порядку для числа факторів $K = 2$.

Параметри оптимізації: Y_1 – інтенсивність зношування (мкм/км); Y_2 – коефіцієнт тертя, μ .

Шукана функція відгуку в факторному просторі має вигляд:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2.$$

Лінійні і квадратичні ефекти визначалися за формулами:

$$B_0 = Y_0;$$

$$B_i = A \sum_{U=1}^N X_{iU} Y_U ;$$

$$B_{ii} = B \cdot \sum_{U=1}^N X_{iU}^2 Y_U + C \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{U=1}^N X_{iU}^2 Y_U - \frac{B_0}{p} ;$$

$$B_{ij} = D \cdot \sum_{U=1}^N X_{iU} X_{jU} Y_U ,$$

де A, B, C, D – константи, що залежать від числа факторів K , в нашому випадку: $K = 2$; $A = 0,5$; $B = 0,33$; $C = -0,1$; $D = 0,15$; $p = 2$.

Таблиця 1 – Умови дослідів дослідження зносостійкості композиційних матеріалів в умовах високотемпературного фретинг-зношування

Фактори	Вміст зв'язки (X_1) $C_{зв}, \%$	Температура (X_2) $T, ^\circ\text{C}$
Верхній рівень (+1)	80	900
Нижній рівень (-1)	50	20
Основний рівень (0)	20	450
Інтервал варіювання (J)	30	450

Таблиця 2 – План експерименту

№ дослідів	Фактори						Параметри оптимізації			
							дослідні		розрахункові	
	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	X_1^2	X_2^2	Y_1	Y_2	Y_1	Y_2
1	1	1	1	1	1	1	23,3	0,13	20,54	0,12
2	1	1	-1	-1	1	1	5,8	0,14	11,22	0,23
3	1	-1	1	-1	1	1	29,5	0,15	45,82	0,28
4	1	-1	-1	1	1	1	30,4	0,21	47,54	0,43
5	1	1	0	0	1	0	16,5	0,20	6,40	0,19
6	1	0	1	0	0	1	8,4	0,12	22,58	0,15
7	1	-1	0	0	1	0	16,5	0,29	37,20	0,37
8	1	0	-1	0	0	1	21,2	0,18	18,78	0,28
9	1	0	0	0	0	0	11,2	0,23	11,20	0,23

Дисперсія дослідів визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{U=1}^{n_0} (y_{0U} - \overline{y_0})^2}{n_0 - 1} ,$$

де число ступенів свободи $f_1 = n_0 - 1$, де n_0 – число дослідів на основному рівні; y_0 – середнє арифметичне значення y_{0U} , $n_0 = 3$; $f_1 = 2$.

Для визначення статистичної значущості лінійних і квадратичних ефектів визначаємо їх дисперсії:

$$S_{B_0}^2 = \frac{S_y^2}{n_0};$$

$$S_{B_i}^2 = A \cdot S_y^2;$$

$$S_{B_{ii}}^2 = \left(B + \frac{1}{p^2 n_0} \right) \cdot S_y^2;$$

$$S_{B_{ij}}^2 = D \cdot S_y^2.$$

Далі визначаємо довірчі інтервали коефіцієнтів регресії за формулою

$$\Delta B_i = \pm t_{\alpha; N} \cdot S_{B_i}$$

де t – критерій Стюдента (вибирається з таблиць); $\alpha = 0,05$ – рівень значущості. У нашому випадку, для числа дослідів $N = 9$ і для рівня значущості $\alpha = 0,05$ – $t = 2,13$.

Коефіцієнт регресії слід вважати статистично значущим, якщо його абсолютне значення дорівнює або перевищує величину довірчого інтервалу. Таким чином для зносу маємо 5 статистично значущих коефіцієнтів регресії, для коефіцієнта тертя маємо 4 статистично значущих коефіцієнтів регресії. Для визначення дисперсії адекватності $S_{ад}^2$ обчислюємо суму квадратів відхилень між розрахованими і експериментальними значеннями відгуку у всіх точках плану ($SS_{ост}$):

$$SS_{ост} = \sum_{U=1}^N (y_{U_{розра}} - y_{U_{експ}})^2.$$

Далі віднімаємо від неї суму квадратів, використану для визначення дисперсії досліду за результатами експерименту на основному рівні (SS_y):

$$SS_y = \sum_{U=1}^{n_0} (y_{0U} - \bar{y}_0)^2.$$

Різниця між відхиленнями:

$$SS_{ад} = SS_{ост} - SS_y$$

Число ступенів свободи

$$f_2 = N - k' - (n_0 - 1),$$

де k – число статистично значущих коефіцієнтів регресії, для Y_1 , $k = 5$, для Y_2 , $k = 4$ являє собою дисперсію адекватності рівняння регресії:

$$S_{ad}^2 = \frac{SS_{ad}}{f_2}$$

Далі обчислюємо розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{f_2; f_1} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}$$

Гіпотеза про адекватність моделі може бути прийнята, якщо розрахункове значення F -критерію не перевищує табличного для обраного рівня значущості. Остаточню, модель, отримана після ротатбельного планування другого порядку, має вигляд:

– для інтенсивності зношування Y_1 (рис. 1, а):

$$Y_1 = 11,2 + 1,9X_2 + 2,76X_1X_2 + 10,6X_1^2 + 9,478X_2^2$$

– для коефіцієнта тертя Y_2 (рис. 1, б):

$$Y_2 = 0,23 + 0,0075X_1X_2 - 0,0496X_1^2 - 0,0131X_2^2$$

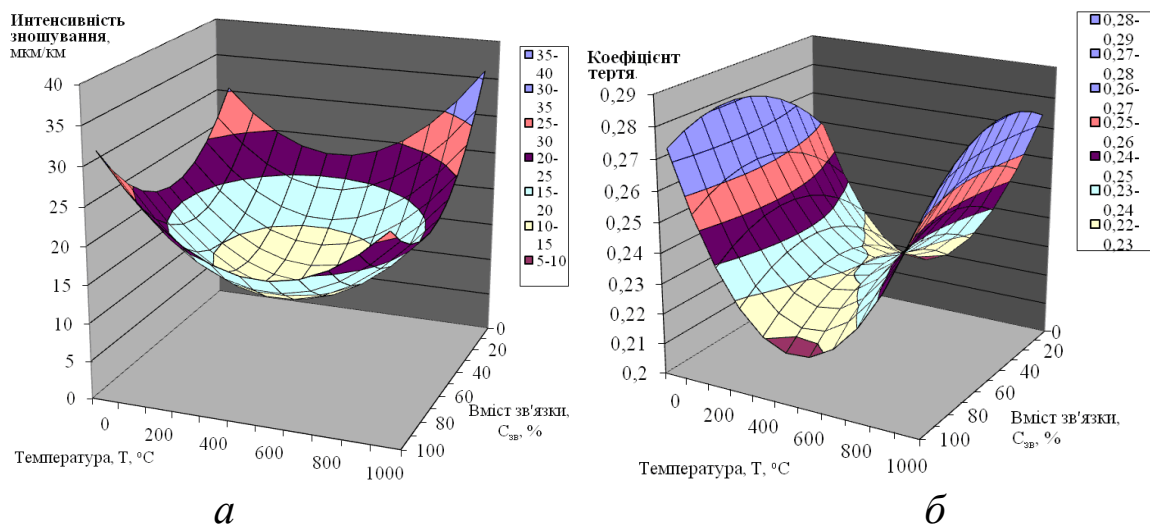


Рис. 1. Результат моделювання залежності інтенсивності зношування (а) і коефіцієнту тертя (б) від температури та вмісту зв'язки в КМ

В табл. 3 представлено коефіцієнти наведених вище формул.

Перехід від кодованих до натуральних значень факторів здійснюється за формулами: $x_1 = \frac{X_1 - 50}{30}$, $x_2 = \frac{X_2 - 450}{450}$.

За отриманими даними побудовані двомірні графічні залежності.

Таким чином, можна провести аналіз впливу всіх двох факторів на зносостійкість та енерговитрати роботи трибосполучення. Розроблена модель дозволяє комплексно і наочно оцінити вплив факторів

на шукану функцію відгуку, провести оптимізаційні заходи та математичну обробку регресійної залежності.

Таблиця 3 – Експериментальні коефіцієнти

Показник	Коефіцієнти
Y_1	$B_0 = 11,2; B_1 = -15,400; B_2 = 1,900; B_{12} = 2,76; B_{11} = 10,600;$ $B_{22} = 9,478; S_y^2 = 0,093333; S_{B_0}^2 = 0,03111111; S_{B_1}^2 = 0,0466667; S_{B_{11}}^2 =$ $0,03857778; S_{B_{12}}^2 = 0,0140; S_{B_2} = 0,176383; S_{B_1} = 0,216025; S_{B_{11}} = 0,196412;$ $S_{B_{12}} = 0,12; \Delta B_0 = \pm 0,3757; \Delta B_1 = \pm 0,4601; \Delta B_{11} = \pm 0,4184; \Delta B_{12} = \pm 0,2520;$ $SS_{\text{ост}} = 1334,353304; SS_y = 0,1867;$ $SS_{\text{ад}} = 1334,1666; f_2 = 2, S_{\text{ад}}^2 = 667,0833187;$ $F_{f_2; f_1} = 71,4732127; \alpha = 0,05, F_{2;2} = 224,6;$
Y_2	$B_0 = 0,23; B_1 = -0,0900; B_2 = -0,0650; B_{12} = 0,0075; B_{11} = 0,0496; B_{22} =$ $-0,0131; S_y^2 = 0,000433; S_{B_0}^2 = 0,000144444; S_{B_1}^2 = 0,0002167; S_{B_{11}}^2 =$ $0,000179111; S_{B_{12}}^2 = 0,000065; S_{B_2} = 0,012019; S_{B_1} = 0,01472; S_{B_{11}} =$ $0,013383; S_{B_{12}} = 0,008062; \Delta B_0 = \pm 0,0256;$ $\Delta B_1 = \pm 0,0314; \Delta B_{11} = \pm 0,0285; \Delta B_{12} = \pm 0,0172; SS_{\text{ост}} = 0,09271954; SS_y =$ $0,000867; SS_{\text{ад}} = 0,091853; f_2 = 3, S_{\text{ад}}^2 = 0,030617624; F_{f_2; f_1} = 7,066; \alpha =$ $0,05, F_{1;2} = 8,84;$

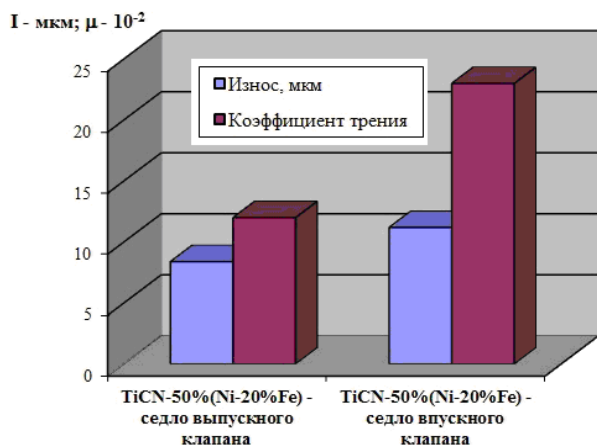


Рис. 2. Інтенсивність зношування і коефіцієнт тертя для остаточно рекомендованих матеріалів

Для вирішення оптимізаційної задачі можна прийняти результати з рис. 2. Вибрані матеріали мають близьке значення інтенсивності зношування для відповідних умов праці, тому і передбачуваний вихід з ладу всіх сідел клапанів стане в один і той же час. Так само матеріали мають близькі значення коефіцієнта тертя.

Висновки

1. В результаті дослідження контактної взаємодії тугоплавкої складової та металевої зв'язки було встановлено, що нікель не змочує кераміку TiCN ($\theta = 140^\circ$). Введення заліза в нікель сприяє інтенсифікації змочування кераміки TiCN сплавами Ni-Fe. Концентрація 20% заліза в нікелі є оптимальною, так як в системі TiCN-(Ni-Fe) встановлюються контактні кути змочування 20° . Таким чином,

сплав Ni–20% Fe є перспективним в якості металевої зв'язки для композиційного матеріалу на основі TiCN–(Ni–Fe).

2. Отримані нові композиційні матеріали системи TiCN–(Ni–Fe). Структура цих матеріалів являє собою металокерамічну матрицю, в котрій рівномірно розподілені тугоплавкі сполуки TiCN в металевій матриці Ni–Fe.

3. Досліджені триботехнічні характеристики розроблених композиційних матеріалів в умовах, що моделюють роботу пари «клапан-сідло», встановлено, що для впускного і впускного клапанів найбільш пасує склад композиційного матеріалу TiCN – 50%(Ni–20%Fe).

4. Встановлені механізми зношування розроблених композиційних матеріалів і сталі при терті в умовах фретинг-зношування без мастильних матеріалів в парі зі сталевим контртілом із 40X9C2. Показано, що високі значення триботехнічних характеристик матеріалів пояснюються утворенням в процесі тертя складних плівок на основі оксидів титану, заліза та нікелю, тобто реалізується окиснювальний механізм зношування.

Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М.
Брестский государственный технический университет,
Брест, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НОЖЕ КУТТЕРА ПРИ ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ

Важнейшим элементом универсальных куттеров для измельчения пищевых продуктов являются ножи-измельчители. Ножи, изготовленные из жаропрочной хромистой нержавеющей стали 14X17H2 (ГОСТ 5632-2014), упрочнялись объемной закалкой до 42–48 HRC. В процессе эксплуатации измельчители подвергались интенсивному изнашиванию и имели срок эксплуатации, не превышающий трех месяцев. Проведены визуальные обследования вышедших из строя ножей, которые показали ряд характерных дефектов – затупление, растрескивание и выламывание режущей кромки, разрушение полотна детали, отламывание кусков в периферийной зоне (рис. 1, а).

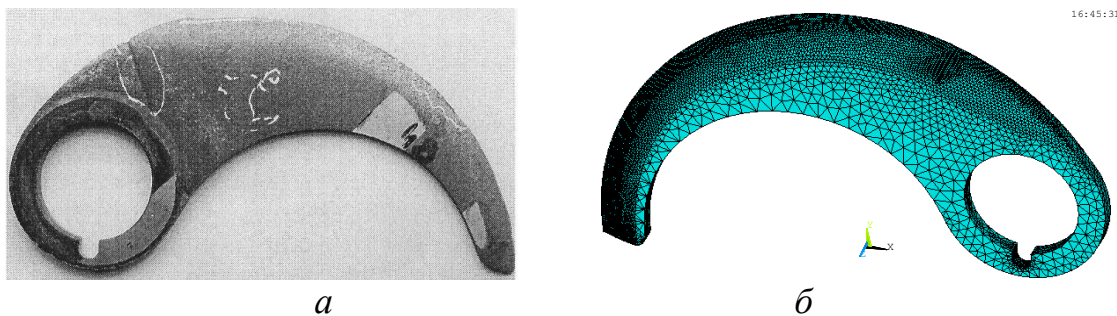


Рис. 1. Измельчители пищевых продуктов:

a – после эксплуатации с упрочнением объемной закалкой;
б – конечно-элементная модель

С целью повышения микротвердости поверхностного слоя, износостойкости ножа, сопротивляемости длительным нагрузкам и долговечности предложено провести поверхностное плазменное азотирование его рабочей зоны. Для определения оптимальных режимов процесса азотирования проведены теоретические исследования температурных полей и напряженно-деформированного состояния, выполненные с применением конечно-элементного комплекса ANSYS. В ходе проведения вычислительного эксперимента разработана трехмерная конечно-элементная модель ножа (рис. 1, *б*). В соответствии со скоростью движения плазменной струи к узлам созданной модели пошагово последовательно прикладывалась температурная нагрузка в виде конвекции. Тепловой поток плазменной струи распределяется по ширине пятна нагрева по закону, соответствующему нормальному распределению, исходя из чего на нагреваемой поверхности ножа коэффициент конвекции задавался различным по ширине пятна нагрева, соответствующим кривой Гаусса. Разработанная механико-математическая модель позволяет также учитывать зависимость свойств материала от температуры. При исследовании напряженно-деформированного состояния нож закреплялся по нижней поверхности для ограничения перемещения в направлении, перпендикулярном поверхности ножа, и по поверхности шпоночного паза для ограничения перемещения в параллельном его поверхности направлении. По результатам теоретических исследований получены типичные зависимости распределения температур, эквивалентных напряжений, деформаций и суммарных перемещений на рабочей части ножа при различных скоростях движения источника нагрева.

На рис. 2 показано типичное температурное поле на рабочей зоне измельчителя в различные моменты времени при скорости движения источника нагрева $v = 10$ мм/с.

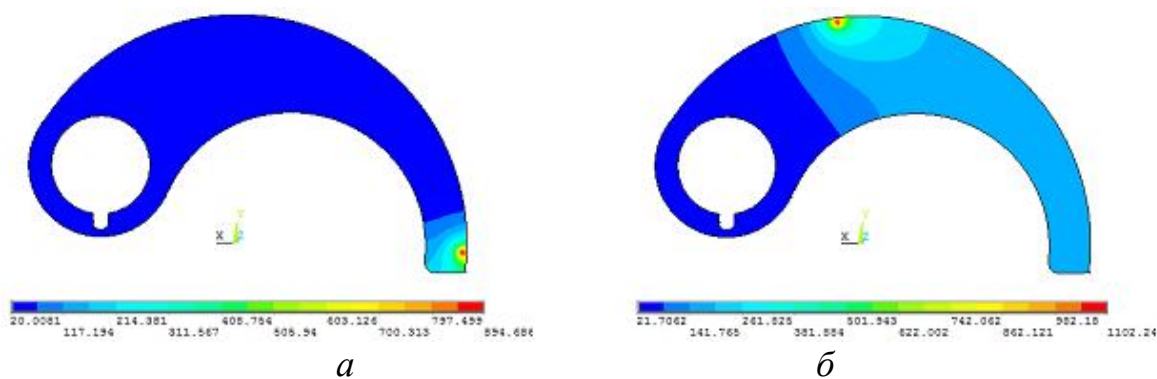


Рис. 2. Температурное поле на поверхности ножа для различных моментов времени: $a - t = 1$ с; $b - t = 24$ с

На рис. 3 представлено распределение эквивалентных напряжений по Мизесу и суммарных перемещений ножа в момент времени $t = 24$ с при $v = 10$ мм/с.

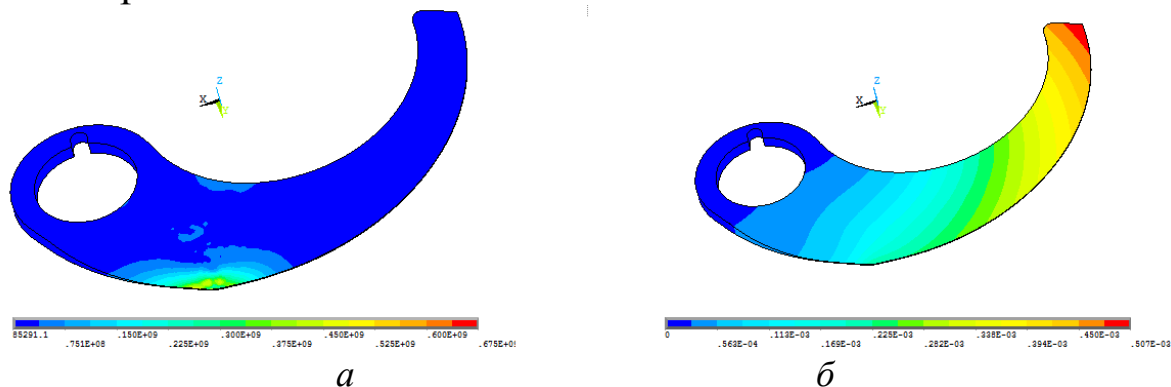


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу (a) и суммарных перемещений (b)

Процесс плазменного азотирования ножа проводился на вакуумно-плазменной установке путем нанесения дорожек с шагом 1,5–2 мм на поверхность детали. Необходимая скорость движения и траектория плазменной струи автоматически выполнялась манипулятором. По результатам экспериментов определены оптимальные режимы процесса поверхностного плазменного азотирования: расход азота $Q = 3,6$ л/мин, ток дуги $I = 28$ А, скорость движения источника нагрева $v = 10$ мм/с. Результаты исследований ножей-измельчителей после поверхностного плазменного азотирования показали значительное увеличение долговечности, а срок службы упрочненных ножей после объемной закалки и плазменного поверхностного азотирования в 2,3 раза выше, чем упрочненных лишь объемной закалкой.

*Волков А.А., Лёвушкина Н.В., Нигметзянов Р.И.,
Перекрестова В.А.* Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет, Москва, Россия

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Множество вариантов обеспечения равнозначной интенсивности изнашивания изделий машиностроения обуславливает сложность определения оптимального сочетания параметров качества поверхностного слоя деталей. Оптимальным будет то сочетание, которое обеспечивается с наименьшей себестоимостью. Решение по оптимизации технологического процесса для упрочнения поверхностного слоя изделий машиностроения может обеспечиваться интенсификацией принятых методов обработки в результате применения других технологий. Так, применение ультразвуковых технологий позволяет интенсифицировать процесс химико-термической обработки, широко применяемой для изделий, требующих вариативного изменения структуры и фазового состава поверхности. Экспериментально подтверждается, что воздействие ультразвуковых колебаний во время процесса газового азотирования в среде диссоциированного аммиака, оказывает положительный эффект – увеличивается твердость и глубина проникновения азота.

Для интенсификации процессов термодиффузионного насыщения в газовой среде наибольший интерес представляют плоскостные излучатели.

Плоскостные излучатели используются для увеличения интенсивности ультразвуковых колебаний в некоторой части пространства по сравнению с интенсивностью у поверхности. В результате такого конструкторского решения (рис. 1) увеличится площадь модифицированного поверхностного слоя, а воздействие ультразвуковых колебаний на насыщающую среду, будет способствовать её перемешиванию, интенсифицируя процесс диффузии атомов азота в кристаллическую решетку.

Установка, предназначена для упрочнения поверхностного слоя изделий методом газового азотирования с одновременным воздействием ультразвуковых колебаний, содержит магнитострикционный преобразователь, волновод-концентратор 1 и излучающую мембрану 2 встраиваемую в корпус печи с помощью дополнительного

фланца 3. Герметизация печного пространства осуществляется крышкой 10. Крышка фиксируется на верхнем фланце с помощью распорной планки и поджимного винта. Корпус печи 4 выполнен из керамической муллитокремнеземистой трубки МКР. На корпус намотан нагревательный элемент (ТЭН) 6 из проволоки нихром Х20Н80 (5). Контроль температуры насыщающей среды осуществляется с помощью термопары во внутреннем пространстве печи (на схеме не указана). Элементы печи стянуты шпильками. Упрочняемое изделие 7 располагается в печном пространстве на жестком подвесе, вкрученном в крышку. Подача и отвод насыщаемой среды для химического процесса производится через патрубки 8 и 9.

При подаче электрической мощности от генератора на вход электроакустического преобразователя, в нем возбуждаются механические колебания. От преобразователя они передаются с помощью волновода-концентратора к излучающей мембране.

Ускорение процесса азотирования объясняется увеличением плотности дислокаций, образование большого количества избыточных «деформационных» вакансий и увеличением адсорбционной способности поверхности при взаимодействии упругопластических деформаций ультразвуковых волн с кристаллической решеткой упрочняемого изделия.

Представленное технологическое решение по комбинированной обработке азотировани-

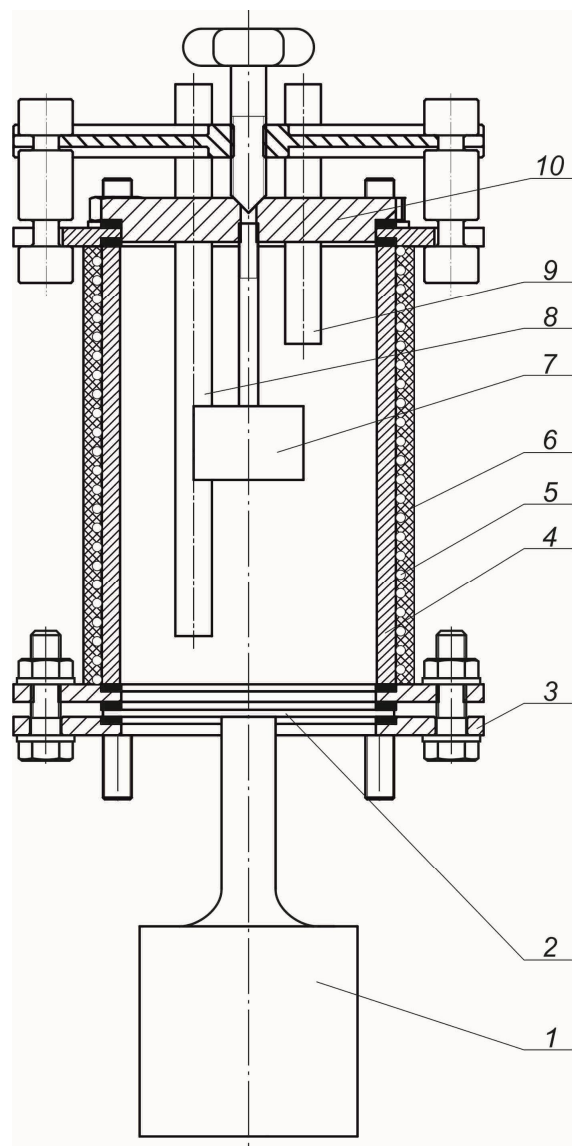


Рис. 1. Схема ультразвуковой установки для обработки стальных изделий:

1 – волновод-концентратор; 2 – мембрана; 3 – фланец; 4 – корпус печи; 5 – обмотка; 6 – нагревательный элемент; 7 – изделие; 8 – патрубок подачи насыщающей среды; 9 – патрубок отвода насыщающей среды; 10 – крышка

ем с наложением ультразвуковых колебаний позволяет увеличить глубину азотированного слоя в 1,5 раза, а также повысить твердость поверхностного слоя до 2 раз, что обеспечивает заданные эксплуатационные свойства при меньшей длительности процесса.

Литература

1. Формирование поверхностного слоя методом комплексного ультразвукового воздействия и азотирования / В.А. Александров, В.Ф. Казанцев, Д.С. Фатюхин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2013. – № 3 (21). – С. 33–36.

2. Формирование эксплуатационных свойств деталей машин ультразвуковыми методами / В.М. Приходько, И.А. Медеяев, Д.С. Фатюхин. – М.: МАДИ. – 2015. – 264 с.

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

ПРАКТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДУГОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АНОДНО-ИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОРПУСОВ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ

Современный практический интерес к изучению диэлектрических свойств анодно-искровых покрытий (АИП) алюминиевых сплавов (АС) микродуговым оксидированием (МДО) стимулируют инструментальные применения таких сплавов в корпусах алмазно-абразивных инструментов (ААИ), которые требуют электрической защиты в высокопроизводительных технологиях с токоподводом в зону обработки.

Одним из самых высокотехнологичных современных методов формообразования труднообрабатываемых материалов, физикой своего успеха обязанным именно введению в зону резания электрического тока, является созданное и около полувека разрабатываемое в НТУ «ХПИ» алмазно-искровое шлифование. Реализация этого метода на универсальном оборудовании без электроизоляционного передела ответственного за его точность шпиндельного узла в условиях не имеющих станкостроительного опыта механообрабатывающих про-

изводств возможна с применением конструкторско-технологических решений ААИ с токозащитой посадочных поверхностей.

Вниманию предыдущего форума АТМУ в феврале 2018 года разработчиками этих решений была представлена обзорная информация о них по технической сущности, об их патентной защите и достижимым уровням основных эксплуатационных характеристик. Представленные здесь материалы и результаты выполненных исследований расширяют понимание технологических особенностей и возможностей реализуемого подхода к токоизоляции конструкционных АС (МДО) из реальной практики производства ААИ ведущим национальным предприятием ОАО «Полтавский алмазный инструмент».

Обсуждаемые исследования проведены для двух типов деформируемых АС, которые широко используются в качестве конструкционных материалов для несущих деталей также в машино- и приборостроении – Д16 и АК6. Формирование покрытий проводилось при анодно-катодном (переменном) токе в режиме произвольно падающей мощности в течение 1 часа при начальной плотности тока 20 А/дм^2 . В качестве электролитов использовались три раствора: силикатный – 12 г/л технического раствора жидкого натриевого стекла с плотностью $1,4 \text{ г/дм}^3$ (0:12), а также щелочно-силикатные – 2 г/л КОН + 12 г/л раствора того же жидкого стекла (2:12) и более разбавленный – 1 г/л КОН + 6 г/л раствора того же жидкого стекла (1:6). Толщину покрытий измеряли неразрушающим методом с помощью вихретокового толщиномера NOVOTEST TP-1. Объемное сопротивление оценивали с использованием тераомметра Е-13 при рабочем напряжении 100 В. Напряжение пробоя (соответственно, электрическую прочность) измеряли при переменном токе (50 Гц).

Анализ толщины оксидных АИП, образующихся в идентичных условиях электролиза, показывает (табл. 1), что она зависит от марки сплава и состава электролита. В общем случае толщина покрытий на сплаве Д16 больше, чем на АК6. Преимущество увеличивается с переходом к более «агрессивным» электролитам, содержащим в своем составе едкую щелочь, с ростом от электролитной среды без КОН (0:12) до электролитной среды с КОН. Вероятной причиной этого является разная скорость травления интерметаллических соединений, входящих в сплавы.

Последующее измерение показателей диэлектрических характеристик АИП, удельного объемного сопротивления (ρ_v) и электриче-

ской прочности (E), показывают (см. табл. 1) преобладающее влияние толщины на их величины.

Таблица 1 – Характеристики АИП методом МДО на деформируемых АС

Характеристика	Сплав	Состав электролита		
		0:12	2:12	1:6
Толщина, мкм	Д16	80	100	70
	АК6	60	55	40
Удельное объемное сопротивление, Ом·м	Д16	$3,2 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$	$4,3 \cdot 10^9$
	АК6	$7,4 \cdot 10^9$	$5,2 \cdot 10^9$	$8,9 \cdot 10^9$
Электрическая прочность, В·мкм ⁻¹	Д16	12,7	13,1	13,8
	АК6	10,2	10,0	13,1

Факт ухудшения диэлектрических свойств АИП методом МДО с ростом толщины (от АК6 до Д16, см. табл. 1), можно объяснить увеличивающейся неоднородностью фазово-структурного состава, улучшением условий для миграции и диффузии ионов щелочных металлов (К и Na) под действием температуры, «захватом» токопроводящих ионов в композитную пористую структуру оксидного слоя.

На обоих сплавах лучшие показатели ρ_v обеспечивают покрытия, образованные в электролите 1:6, самые низкие – в растворе 2:12. Тенденция снижения E покрытий (см. табл. 1), как и ρ_v , с ростом толщины, связана с относительным увеличением объема пористости, E воздуха которой составляет всего 3 В/мкм.

Причины ухудшения E с увеличением роста толщины АИП те же, что приводят к ухудшению ρ_v – неоднородность покрытий, наличие в составе, кроме оксидов алюминия, иных структур – муллитов, силлиманитов и других с более низкими диэлектрическими свойствами.

Индекс E по сравнению с ρ_v менее зависим от состава электролита, но небольшое преимущество все же наблюдается в оксидных АИП, образованных в технологически рекомендуемом растворе электролита 1:6.

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ СТРУКТУР МАТЕРІАЛІВ

В роботі наведено результати початкових досліджень стендової автоматизованої системи, що призначена для визначення класів компонентів структур матеріалів в лабораторних умовах.

Структура автоматизованої системи визначення класів структур матеріалів (АСВКСМ), що створена на кафедрі ТКММ ОНПУ, приведена в роботі [1]. До її складу входить система технічного зору, що забезпечує реєстрацію цифрових зображень інформативних зон мікрошліфів. Після попередньої обробки зображень виконується виділення однозв'язних та багатозв'язних контурів компонентів структур та визначення наборів їх параметрів для подальшого розпізнавання.

Метою роботи є проведення початкового дослідження АСВКСМ (зокрема – її підсистеми обробки зображень) при визначенні структур чавунів. Базові методи обробки цифрових зображень та відповідне математичне забезпечення, що були використані при створенні програмного забезпечення, наведено в роботах [2, 3].

Програмний комплекс, орієнтований на обробку зображень зон зношення та сколів інструментів, представлений в [4]. Його адаптовано до вирішення низки завдань матеріалознавства. Об'єктами досліджень у цій роботі є дендрити у виливках.

При виготовленні виливок з чавуну в процесі їх охолодження має місце кристалізація аустеніту. Кінетика цього процесу пов'язана з розростанням зародків аустеніту у вигляді дендритів [5].

Створюються дендритні сітки, «узори», «вітки». Їх дослідження по відповідним шліфам з використанням АСВКСМ дозволяє отримувати інформацію об особливостях процесу кристалізації аустеніту. Зображення фрагменту шліфу чавунної відливки [5] було використано на етапі початкового дослідження підсистеми обробки зображень АСВКСМ.

На рис. 1, а приведено вид робочої панелі програмного комплексу обробки зображень. У лівому верхньому вікні показано зображення октаедру аустеніту, у правому верхньому вікні отримано його бінарне зображення.

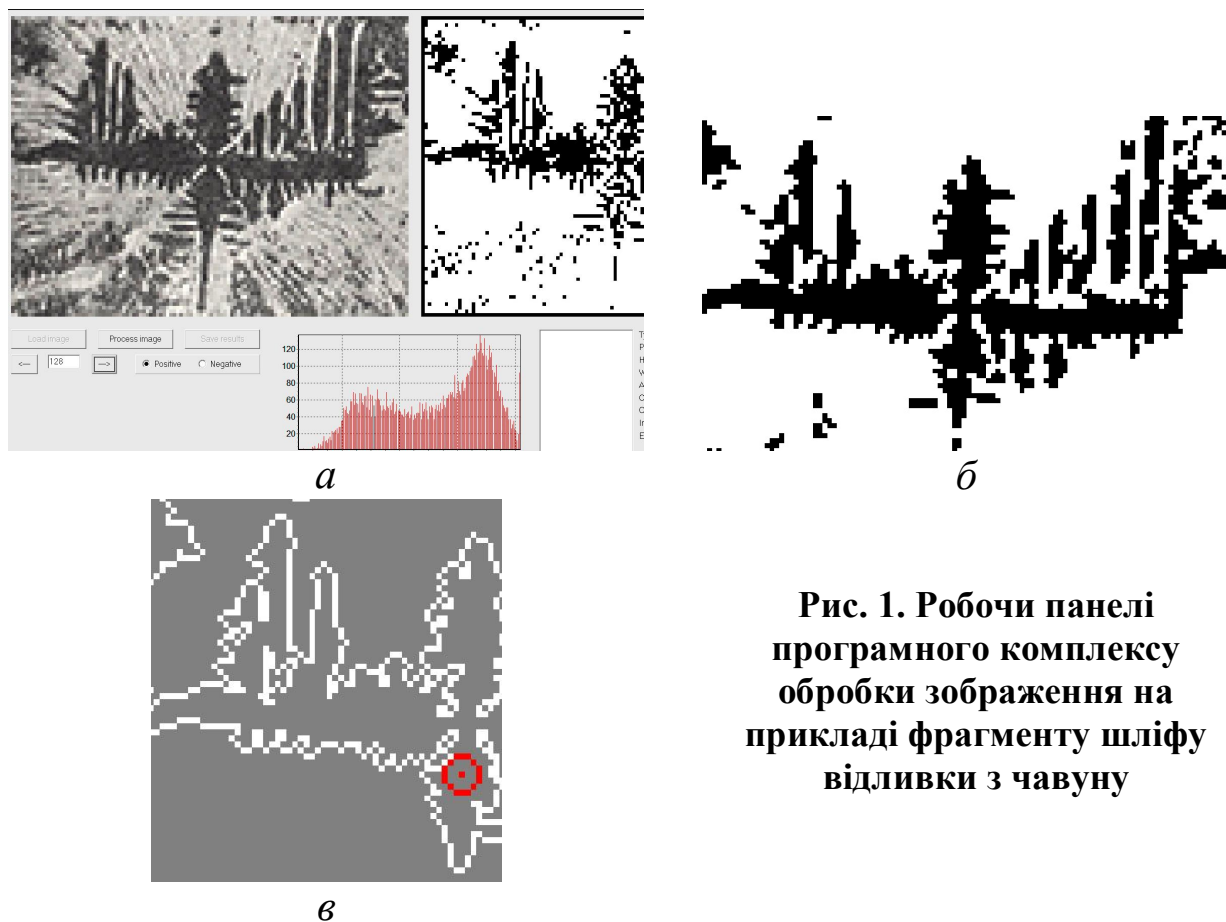


Рис. 1. Робочі панелі програмного комплексу обробки зображення на прикладі фрагменту шліфу відливки з чавуну

У центральному нижньому вікні формується гістограма яскравості зображення, що дозволяє робити оптимальний вибір порогу бінаризації. Фрагмент бінарного зображення октаедра аустеніту приведений на рис. 1, б, виділений багатозв'язний контур октаедру відображений на рис. 1, в.

Обробка контурів подібного типу дозволяє формувати множину ознак для подальшого розпізнавання класів структур матеріалів, зокрема чавунів. Проведені початкові дослідження підсистеми АСВКСМД показали її працездатність та перспективність виконання подальших робіт.

Література

1. Комплексная система для распознавания классов дефектов поверхностей и структур материалов / А.Г. Деревянченко, Т.В. Кожухарь, С.К. Волков // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 98–108.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера. 2006. – 615 с.
3. Шмидт Д., Шварц В. Оптоэлектронные сенсорные системы. – М.: Мир, 1991.

4. Интеллектуальная система диагностирования отказов и прогнозирования ресурса режущих инструментов / А.Г. Деревянченко, Д.А. Криницын. – Одесса: Астропринт, 2012. – 203 с.

5. Структура чугуна / К.П. Бунин, Г.И. Иванцов, Я.Н. Малиночка. – К. : Машгиз, 1962. – 164 с.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА С ОСНОВАМИ ЭКОЛОГИИ

Говоря об интегрированных программах и уроках по экологии нужно сказать, что они в основном сориентированы на школьников, стремящихся получить физико-техническое или гуманитарное образование [1]. Но экологическое обучение можно проводить и на уроках физической культуры и трудового воспитания.

Перед вами как бы завершение того обучения по экологии, которое как бы проводилось в течение года с ребятами как старших, так и младших классов.

Учебный год заканчивается, погода обещает быть хорошей, самое время отправляться с ребятами в туристские походы – однодневные, двухдневные, а начиная с семиклассников – и в многодневные. Такие походы обычно готовят учителя физкультуры.

Группа подобрана, план похода проверен, утвержден. Наступает намеченный срок. Собрано все необходимое для похода.

И вот, на живописной опушке разбивается бивак. Развернуты привезенные палатки. Но чтобы их поставить, нужны опорные, по два на палатку, колья. Ничего не поделаешь, приходится на эти опорные колья рубить молоденькие, стройные деревца. А когда вставляли в палатки срубленные, подогнанные стволы, надо, натянув палатки, укрепить натяжку на колышках. А их 14 на каждую палатку. И опять ничего не остается, как и на колышки рубить живые деревья. «Жаль, их как!» – жжет вас все время мысль, – «Но ведь так уж принято». Не в восторге от похода и ребята. Везде без конца говорят: «Не портить природу! Охраняй лес!» И они сами это другим повторяют, а тут гляди, сами, сколько понарезали.

Нужно оговориться, что экологическое образование должно сочетаться с экологическим воспитанием. Настоячиво и умело. Целенаправленно и на нравственной основе. Пожалуйста, работа в этом направлении есть и на природе.

Но это еще не все. Поставили палатки, изуродовав место вокруг. Ночуете. А завтра ведь снова в путь, туда, где вас ждут самые красивые ландшафты. Палатки снимаете с кустарного каркаса, свертываете их. Ну а все колья и колышки оставляете, конечно, тут же: не тащить же с собой эту сырую, тяжелую древесину, и без нее веса хватает.

А на следующей стоянке с ночевкой снова будете рубить молодняк на опорные колья и колышки. А потом, снимаясь дальше, опять все бросите. И чем больше ночевок, тем более погубите вы земного молодняка, такого же юного и цветущего, как ваши туристы. А ведь кроме вас в походах много других туристских групп. И все рубят лес для крепежа. И получается: чем больше боремся мы за здоровье и развитие школьников – нравственное и познавательное, тем больше здорового, крепкого, молодого леса летит под топор. И гибнет его, зеленого, надо прямо сказать – массы!

И это варварство, истребление природы еще не все. А если дождь? Или представим такую картину: дождь все усиливается, а молодняка – то нет, кругом мачтовый лес! Или вновь ливень, а вы на переходе в безлесной зоне. Что рубить то?

Вся эта работа – старая, гнилая традиция. А можно сделать так. Начнем с колышков. Вместо тупых, тяжелых, ненадежных чурбанчиков у вас должны быть постоянные колышки – шпильки – легкие, надежные, безотказные. Их легко сделать в школьной мастерской. Стальную полу калёную проволоку толщиной 3–3,5 мм режут на 15 (с запасом) кусков по 20 см. один конец у каждого куска на 2–2,5 см загибают под прямым углом – это головка колышка для удержания кольца шнура натяжки. Вот и все. Девочки на уроках труда могут сшить, и с большим удовольствием, если узнают, что это пригодится в походе, к каждому комплекту колышков – шпилек, матерчатый мешочек-футлярчик с плоским или клеенчатым дном. Верх мешочка затягивают шнурком. Этот футлярчик со всем комплектом шпилек в походе несет в кармане рюкзака один из трех членов команды каждой платки.

Два, для каждой палатки опорных кола изготавливают тоже легко. Можно приспособить для них любую не нужную тонкую и крепкую палку, например от швабры. Подойдет и расщепленная – склейте ее и замотайте изоляционной лентой. Можно для колеv использовать стволики жасмина. Он легкий и достаточно прочен. Годятся и старые, с изъёмом даже, бамбуковые удочки, лишь бы длина была достаточной.

А нет такого, почти готового кола, выстругайте его рубанком из не толстого сухого бруска. Верхний конец, который войдет в кольцо в потолке палатки, заострите немного. Ошкурьте его, чтобы рук ненароком не занозить. Конечно, длину такого кола, как и всякого, надо подгонять под высоту палатки.

Палатку наворачивают на колья и несут вдвоем, в линейку. Может нести ее и двои туристов на плече. Поступают так: один несет палатку, укрепив ее поверх рюкзака, а двое других идут с кольями, используя их как туристские посохи. Имея такой крепеж, никому и в голову не придет, бросать его по пути. Он будет служить долго. И никакой рубки молодняка не потребуется. И никакой порчи природы не произойдет – это очень удобно и экономично. Топор вашей группе окажется вообще ненужным. И так: в природу, но без топора!

«Ах эти комары, эти комары!» – часто только и слышишь от походников, особенно от начинающих. И втирают они в себя всякие отпугивающие насекомых мази и жидкости. Хорошо еще, если это крем или типа лосьон, а то и куда более сильные средства применяют, даже запрещенные, ядовитые. Целесообразно ли это? Знание предмета химии очень важно. Но на природе лучше не использовать. Всякие кремы и лосьоны, во-первых, малоэффективны, а во-вторых в какой-то степени они все же вредны. И вредны, прежде всего, для детей.

Но что же выручит, если отказаться от химии? Физика. Законы движения газов (которые в школе изучаются хорошо). Общеизвестно, что комары не появляются (или почти отсутствуют) в местах, постоянно продуваемых ветерком, даже совсем малозаметным. Ведь и северные олени именно поэтому перекочевывают весной от опушек тайги к краю тундры, к океану с его постоянным дуновением. Значит, и вам палатки для стоянки надо разбивать там, где есть постоянное движение воздуха: на безлесных возвышенностях, на не заросших по краям камышом и осокой полянах, у крутой излучины реки, на углу лесной опушки, даже и без подлеска.

И вполне может случиться так. Что в сотне шагов от вашего бивака комаров будет столько, что носа туда не сунешь, а у ваших палаток их не обнаружишь.

Литература

1. Попспирова Н.М., Бояринова В.Г. Непрерывное экологическое образование (детский сад-школа). – Фергана: Типография ФерПИ, 1996. – 98 с.

НИТРАТЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Сначала цифры. По нормам ВОЗ, допустимой суточной дозой нитратов для человека считается 5 мг на каждый килограмм его веса. При среднем весе 70 кг и получается "допустимый дневной максимум" – 350 мг. Если же за один раз принять 600–650 мг нитратов, то у взрослых уже развивается выраженное отравление [1].

Любые растения постоянно извлекают нитраты (соли азотной кислоты) из почвы и превращают их в органические азотосодержащие соединения (аминокислоты, белки и др.) В этом и заключается уникальная особенность растений – из минеральных солей производить органику.

Растения, собственно, этим и живут, поэтому в них всегда есть нитраты (те, которые уже поступили из почвы, но еще не успели превратиться в белки). Однако распределяются нитраты в растениях очень неравномерно. Меньше всего их бывает в плодах, вот почему фрукты и зерновые в отношении нитратов обычно вне подозрений. Скорость всасывания и преобразования нитратов сильно зависит от температуры и времени суток. Меньше всего нитратов утром и вечером, особенно в жару, больше всего – в прохладную погоду.

Для нашего организма нитраты сами по себе безвредны. Но часть их превращается в нитриты (соли азотистой кислоты), которые блокируют дыхание клеток. Связывается гемоглобин, возрастает содержание холестерина и молочной кислоты. То есть, нитриты – яд.

В здоровом теле превращение нитратов в нитриты существенно замедлено по сравнению с ослабленным организмом. Значительная часть нитратов просто выводится, немало их преобразуется в полезные соединения. Защитные механизмы на нитраты, в общем-то, предусмотрены природой, нормальный обмен даже предполагает какое-то наличие этих солей. Весь вопрос в дозах.

Высокое содержание нитратов в растениях обычно обусловлено превышением количества минеральных удобрений. Правда, многие стали с пониманием подходить к этой проблеме. И часто те, кто раньше усердствовал с подкормкой, сейчас, зная, чем это чревато, не хотят больше брать грех на душу.

Но надо отметить, что повышенное содержание нитратов не всегда обусловлено перебором азотистых удобрений. Иногда даже на не удобряемых "химией" огородах урожай все равно получается высоко нитратным. Правда, это чаще бывает при нарушении элементарных агротехнических правил. Скажем, достал хозяин весной машину свежего навоза и на радостях сразу внес его в почву. И нитратов в его продуктах, которые он так хотел сделать "чистыми", будет гораздо больше, чем он ожидал.

Чаще всего, конечно, "нитратность" овощей в пределах норм. Но это мало утешает, поскольку бывают все же печальные исключения. Желательно иметь представление, что мы едим, а для этого надо научиться так или иначе оценивать качество пищи.

Прикинуть содержание нитратов в продуктах можно с помощью индикаторной бумаги. Конечно, ее точность невысока, но общее представление индикаторы дают. Зато как приятно кушать ту же петрушку или укроп, зная, что в них не "допустимые" 2000 мг/кг (что бывает сплошь и рядом), а всего 500. Тем более имеет смысл проверять овощи, когда речь идет о больших покупках – картофель, капуста на зиму и т.п. Правда, некоторые овощи (свеклу, например) с помощью бумаги проверить невозможно.

Но есть еще один способ. Дело в том, что овощи с очень большим содержанием нитратов имеют, как правило, неестественный вкус. Их неприятно жевать и глотать, они не доставляют никакого удовольствия.

Причем "на вкус" выявляется не отдельно нитратность или что-либо еще, а сумма качеств того, что мы жуем. Такая оценка, собственно, заложена природой. Ведь наш язык - чрезвычайно чувствительный орган, если не притуплять его восприимчивость неподходящей едой. Дегустаторы различают тончайшие вкусовые оттенки даже тогда, когда лабораторными исследованиями не удастся уловить разницу.

Овощи с явным перебором нитратов лучше всего, наверное, выбрасывать. Хотя существуют методы снижения концентрации нитратов, и мы их сейчас рассмотрим. Но подходит нам далеко не все. Скажем, если замочить очищенный картофель на сутки в однопроцентном растворе соли, то нитратов в нем действительно почти не останется. И биологически ценных веществ тоже. Остальные овощи вымачивать вообще бесполезно – в раствор уйдет лишь незначительная часть солей из проводящих сосудов. Основная же масса нитратов

сосредоточена в клетках и таким путем не извлекается. Отваривание всех поголовно овощей – тоже не метод, особенно если отвар сливать.

Иногда рекомендуют отваривать заведомо ядовитые продукты или их части с наибольшей концентрацией нитратов, очевидно, руководствуясь принципом: "лучше в нас, чем в таз". Дело, конечно, хозяйское, но отравлять себя даже из соображений экономии... На наш взгляд, если морковь малосъедобная, ее место в мусорном ведре. Да, после варки она станет на 50% менее вредной, но зато на 95% менее полезной!

Другое дело, что даже в нормальных по вкусовым качествам овощах иногда можно в два-три раза снизить "нитратность", если их правильно чистить и соблюдать несколько простых правил. Но тут нужен индивидуальный подход – у каждого овоща свои особенности. Вот наиболее распространенные у нас "нитрат носители".

СВЕКЛА. Свекла считается королевой среди овощей, но ей же присвоен титул чемпиона по накоплению нитратов. Отдельные ее представители могут содержать до 4000 мг/кг. И выбрасывать ее или по крайней мере безжалостно обрезать по этой причине приходится гораздо чаще, чем другие овощи.

Нитраты в свекле распределяются очень неравномерно. Если их содержание в центральном поперечном срезе корнеплода принять за единицу, то в нижней части (ближе к хвостику) будет уже 4 единицы, а в верхней (около листьев) – 8 (!) таких единиц. Поэтому в подозрительных случаях лучше срезать верхушку – примерно на четверть и хвостик – примерно на восьмую часть корнеплода. Таким путем свекла освобождается от трех четвертей нитратов.

ЗЕЛЕНЬ. В салате, шпинате, петрушке, укропе и другой зелени нитратов иногда бывает даже больше, чем в свекле. Причем в растениях с не удобряемых грядок содержание солей обычно довольно умеренное. А вот в выращенных на питательном растворе или на хорошо "подкормленной" почве концентрация нитратов может достигать 4000–5000 мг/кг.

Правда, концентрация солей в разных частях растений неоднородна. Питание идет от земли, поэтому особенно много нитратов в стеблях и черешках листьев. Так что, обрезаю стебли (если они горькие), можно есть даже подозрительную зелень. К тому же в свежей зелени много витаминов, тормозящих превращение нитратов в нитриты.

Но в нарезанной зелени под действием микроорганизмов и кислорода воздуха нитраты очень быстро переходят в нитриты. Дос-

таточно всего 10 мин, чтобы ядовитость продуктов резко возросла. Разумнее всего (если целые веточки не вызывают энтузиазма) шинковать зелень непосредственно на столе и сразу ссыпать в тарелку. При покупке стоит обратить внимание, чтобы не было надломанных, поврежденных, подгнивших мест. Там идут сходные процессы, и когда пучок попадает домой, его нитритность может перевесить ценность имеющихся витаминов.

КАПУСТА. В белокочанной капусте нитраты "облюбовали" верхние листья. В них (и в кочерыжке) нитратов вдвое больше, чем в средней части кочана. Поэтому иной раз люди пожуют, пожуют крайний листочек, но есть не станут. А уже через три-четыре слоя вкус становится совсем другим.

При хранении свежая капуста сохраняет свою нитратность до февраля, в марте же концентрация солей падает почти в три раза.

В квашеной капусте первые 3–4 дня идет бурное превращение нитратов в нитриты. Поэтому есть малосольную капусту лучше не раньше, чем через неделю. В дальнейшем большая часть нитратов переходит в рассол – равно как и половина всех ценных соединений. И если рассол сливать, а капусту мыть (советуют и такое), то стоит ли вообще ее заготавливать?

Кроме белокочанной, часто продается также цветная капуста. К сожалению, она нередко бывает высоко нитратной, а подпорченные участки еще и высоко нитритными. Ее можно отваривать на пару.

РЕДИС. Редис порой содержит до 2500 мг/кг нитратов. Концентрацию же около 500 мг/кг уже можно считать отличной (для ранних сортов). В круглом редисе нитратов значительно меньше, чем в вытянутом (типа "Красный великан").

Раза в два уменьшить нитратность можно, на 1/8 срезая верхушки и "хвосты".

КАРТОФЕЛЬ. При хорошем хранении содержание нитратов в картофеле резко падает к началу марта – почти в четыре раза. До февраля же концентрация остается почти неизменной.

Большая часть солей в клубне сосредоточена ближе к его середине (а ценные вещества – ближе к кожуре!), но разница невелика. Поэтому чистить его бесполезно, к тому же витамины и ферменты, содержащиеся под кожурой, ограничивают превращение нитратов в нитриты.

Оптимальный метод приготовления картофеля с высоким содержанием нитратов – на пару, "в мундире". Мелкие клубни кладут целиком, крупные разрезают на 2, 4 или 6 частей. При этом удаляется

до 60–70% нитратов. (При обычной варке – до 40%, при жарении – около 15%). Оставшуюся воду лучше, конечно, выливать.

МОРКОВЬ. Морковь, особенно ранняя, может накапливать до 1000 мг/кг нитратов. Их больше в верхушке, ближе к листьям, а также в самом хвостике. Замечено также, что меньше всего нитратов бывает в средней по размерам моркови. Впрочем, не только морковку, но и все овощи – свеклу, репу, кабачки и т.п. лучше брать средних размеров (и не только из-за нитратности).

В нашинкованной моркови (как и в зелени, свекле и др.) нитраты быстро превращаются в нитриты. В салатах эти процессы усугубляются сметаной и, тем более, майонезом (майонез сам по себе – яд!), в которых бурно развиваются микроорганизмы. Подсолнечное же масло сдерживает рост бактерий.

КАБАЧКИ. Они могут содержать до 700 мг/кг нитратов. Больше всего их в тонком слое под самой кожицей и около хвостика. Хвостовую часть, соответственно, можно удалять и снимать кожуру толстым слоем.

Кабачки, особенно зрелые, обычно отваривают, что еще более чем в два раза снижает их нитратность. Но вот выливать отвар, конечно, рука не поднимается. Ну а если во что бы то ни стало нитраты надо удалить, то кабачки можно приготовить на пару в скороварке. Драгоценного сока все же потеряется меньше, чем если сливать отвар.

ОГУРЦЫ. В неблагоприятных условиях даже огурцы могут накапливать до 600 мг/кг нитратов. Непосредственно под кожурой их в несколько раз больше, чем в середине. И если кожура горькая, неприятная, ее приходится снимать. Рекомендуются также обрезать самую невкусную часть около хвостика.

С нитратами, разумеется, приходится считаться, но, в общем-то, они не так страшны. В большинстве случаев их содержание все же приемлемо, ну а когда продукт непригоден, язык всегда поможет это распознать, надо только ему доверять. Особых проблем здесь нет.

Так что, овощи можно смело есть, более того, при желании есть помногу. Не пренебрегая, конечно, и разумной осторожностью.

Литература

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

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В ІНФОРМАЦІЙНО ОРІЄНТОВАНОМУ АВТОРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Труднощі застосування інформаційних технологій в ремонтному виробництві загально визнані вже давно [1]. Та саме вони разом з прогресивними операційними технологіями відновлення деталей обумовлюють зростання продуктивності праці та якості ремонту засобів транспорту, скорочують терміни технологічної підготовки виробництва і тривалість виконання замовлень. Та до недавнього часу, за нашими статистичними даними, на більшості ремонтних підприємств України лише 20–30% конструкторської та технологічної документації були представлені в електронному вигляді. А сучасний рівень інформаційного забезпечення вимагає не просто використання технологічних електронних каталогів і мультимедійних засобів, а обумовлює формування в єдиному інформаційному просторі підрозділів по конструкторсько-технологічній підготовці ремонту з урахуванням вимог автоматизованих систем управління виробництвом і технологічними процесами.

Від розрізнених інформаційних систем, які досить ефективно вирішують локальні по рівню і функціональності завдання, слід здійснити перехід до інформаційно орієнтованого ремонтного виробництва, в якому системно будуть вирішуватися задачі інформаційного супроводження. В якості методологічної основи створення технологічних систем (ТС) такого ремонтного виробництва може бути використаний системно-процесний підхід [2]. ТС та її підсистеми формуються і діють у відособленій сфері, їх складність і специфіка вимагають застосування досить загальних моделей, особливо при рішенні завдань прогнозування, синтезу і концептуального перетворення. Для формування основних ознак концепції інформаційно орієнтованого ремонтного виробництва використовується модель системного комплексу, що відноситься до найбільш загальних конструктивних моделей складних об'єктів, таких як ТС з технологічними процесами відновлення деталей. Ієрархічну модель системного комплексу можна задати на-

бором шарів. Шари виділяються шляхом структуризації на складові, які готують і реалізують функції системи. В процесі функціонування ТС визначаються склад, форма та алгоритми представлення інформації з використанням експертних систем для прийняття рішень, що залежать від складності об'єктів ремонту та технологій відновлення деталей, які застосовуються (рис. 1).

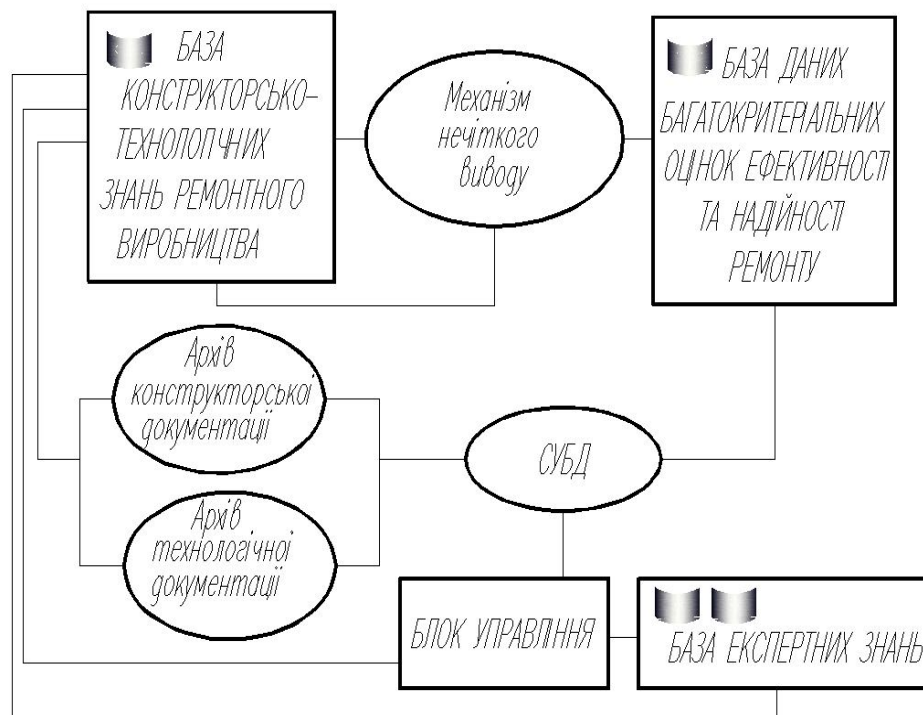


Рис. 1. Структура експертної системи технологічного управління експлуатаційними властивостями відновлення деталей

Отже, ефективне технологічне управління якістю на авторемонтному підприємстві реалізується інформаційною системою, що може мати властивості прогнозування, аналітичної обробки даних (OLAP-системи), або з можливостями ухвалення рішень (DSS-системи).

При моделюванні складних систем, до яких відносяться ТС, для опису технічного стану об'єктів виробництва зазвичай застосовуються методи теорії надійності. Але можливості таких методів обмежені вимогами статистичної обробки даних, традиційно вживаними кількісними оцінками випадкових чинників і так далі. Для вирішення завдань управління якістю на авторемонтних підприємствах може застосовуватися універсальний апарат нечіткого моделювання. Він дозволяє по заданому вхідному вектору розрахувати відповідний вихід – інтегральний показник якості. Отже, нечітка модель є сукупністю механізму виводу та продукційних правил, в правих частинах яких можуть бути нечіткі множини.

Таким чином, метод нечіткого моделювання дозволяє аналізувати повну безліч показників якості відновлення деталей, включаючи такі, які описуються лінгвістичними змінними. Отримані нечіткі моделі можуть бути використані в інформаційних системах управління якістю, забезпечуючи ефективність процесів відновлення і контролю згідно зі стандартами ISO 9000:2000.

Література

1. Информационная технология управления ремонтным производством. Организационно-экономические и технологические аспекты информационной технологии управления автотранспортным предприятием / Гриценко В.И., Тимченко А.А., Левковец П.Р. – К., 1988. – 25 с. – (Предпринт / АН УССР, Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 88-49).
2. Системно-процессное моделирование технических систем в CALS-технологиях / Н.Э. Тернюк, Дудукалов, Ю.В., В.В. Федченко // Сб. науч. тр. «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии». – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2010. – Вып. 49. – С. 124–133.

Евтифеев С.Л., Омельченко Е.И. Одесский национальный политехнический университет, Одесский научно-исследовательский институт судовой экспертизы, Одесса, Украина

ЕКСПЕРТИЗА ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

На кафедре технологии конструкционных материалов и материаловедения проводился ряд исследований по причинам разрушения, то есть выхода из строя валов большого диаметра разнообразного назначения [1, 2]. Выполнен комплекс исследований из трех разделов.

Первый выполнялся по запросу служба электроснабжения ГП “Одесская железная дорога” в связи с необходимостью проведения экспертизы по случаю поломки колесной пары автотриссы АДМ – 1093. В заявке указывалось, что поломка произошла без схода колесной пары с рельсов. Также прилагались следующие документы:

технический паспорт № 1899 (заводской номер), год изготовления октябрь 1983 г.; акты выполненных работ к колесным парам № 1899, № 8038; акт визуального осмотра излома оси колесной пары № 1899 на АДМ.

Для исследований были предъявлены два фрагмента оси (малый – $D_m = 160$ мм и большой – $D_6 = 170$ мм). Применялись следующие методы исследования: внешний осмотр с измерением критических диаметров; фрактографический анализ изломов, металлографический анализ на модифицированном микроскопе МИМ-7 (с использованием визуализации); дюрометрический анализ на твердомете ТР-1; химический анализ на приборе «Спектромакс» (производства Германии). В последнем случае использовался спектрометрический метод, основанный на сравнении с эталонными сертифицированными образцами в соответствии с электронными линейками спектральных линий. Визуальным осмотром и сопоставлением изломов малого и большого фрагмента определено, что разрушение произошло по галтели переходного сечения с диаметра 170 до 160 мм. Примерный диаметр, на котором произошло разрушение – 163 мм, однако имеет место переход на место разрушения диаметром 160 мм.

По результатам проведенного исследований можно сделать вывод, что разрушение оси произошло по усталостному механизму с очагом зарождения трещины на галтели на участке диаметром 163 мм. Классификация излома по [3] – усталостный излом при высоких номинальных напряжениях и слабом концентраторе напряжения по окружности. Ось была изготовлена из стали 45 ГОСТ 1050-2013 в состоянии поставки после термической обработки с нормализацией и высоким отпуском, дополнительно термической обработке не выполнялась. Причиной образования усталостных трещин явилось одновременное действие нескольких дефектов, а именно: ликвации, высокой шероховатости поверхности, не упрочненной методом накатки галтели R5 и возможного перекоса при монтаже колесной пары, что привело к образованию усталостных трещин и их распространению. Обнаружить именно в данном месте переходного сечения и галтели микротрещины в соответствии с действующей методикой практически невозможно, ибо микротрещины сливаются с грубой шероховатостью и переходными сечениями галтели.

Во втором разделе по заявке «ООО ХК Микрон» с целью установления причин разрушения винта (вала) при рихтовке анализировался разрушенный винт шарико-винтовой передачи (ШВП) Ø80.

Для исследования были представлены вала с характерным изломом (часть излома) и вал без излома.

Документов, а именно чертежа детали, технологического процесса обработки детали, сертификатов на материалы, паспортов и технологической документации устройства, где работает деталь, режимов работы представлено не было.

Поэтому, проводились исследования по фактическому материалу: металловедческие – микроструктурный, дюрометрический, спектральный и фрактографические анализы [4–6].

По результатам исследований установлено, что статический хрупкий излом на детали возник в результате возникновения высоких одномоментных напряжений на участках с различными типами концентраторов напряжений при изгибе. На образцах имела место неравномерная твёрдость на различных участках вала, что обусловило неодинаковую прочность с разных сторон детали. При этом, нужно иметь ввиду, что нагрузка при рихтовке вала из нормализованной стали значительно превышает аналогичную нагрузку для случая обработки вала из отожженной стали ШХ15 ГОСТ 2590-2006.

В момент зарождения трещины, напряжения на детали с поверхностным дефектом превышали предел прочности. Разрушение детали произошло как синергетическое следствие влияния наличия на детали подреза, так как подрезов, являющихся концентраторами напряжений.

Кроме того, установлено, что детали отжигу не подвергались, а выполняя только нормализации.

В третьем разделе было проведено исследование причин разрушения валов большого диаметра барабана ленточного конвейера.

Для исследования представлены разрушенный по посадочному месту муфты вал и сама муфта. Документов, а именно чертежей деталей, сертификатов на материалы, паспортов и технологической документации устройств, где работают детали и узлы, режимов работы представлено не было. Поэтому, проводились исследования по фактическому материалу: металловедческие – микроструктурный, дюрометрический и спектральный, фрактографические и частично трассологические. Спектральный анализ показал, что данный материал – сталь 40Х по ГОСТ 2590-2006. Отличительной особенностью образцов являлось пониженное содержание S и P – менее 0,015 %, что позволяет отнести сталь по категории качества к особовысококачественной.

Твердость измерялась на стандартных твердомерах и составляла по всему сечению 183–192 НВ в продольном и поперечном направлениях. Это соответствует для данного сечения проката состоянию нормализация по ГОСТ 2590-2006.

Микроструктуры стали до травления, с целью изучения неметаллических включений, приведены на рис. 1, *а*, *б*. Балл зерна в поперечном сечении 6 по ГОСТ 5639-82, в продольном направлении 4–8, что обусловлено наличием в технологическом процессе изготовления детали операции прокатка, а так же ее неравномерном охлаждении. Микроструктура стали – феррит (светлые зоны на рис. 1, *в*) и перлит (темные зоны на рис. 1, *г*). Указанная микроструктура соответствует всем требованиям, которые предъявляются стандартом к прокату.

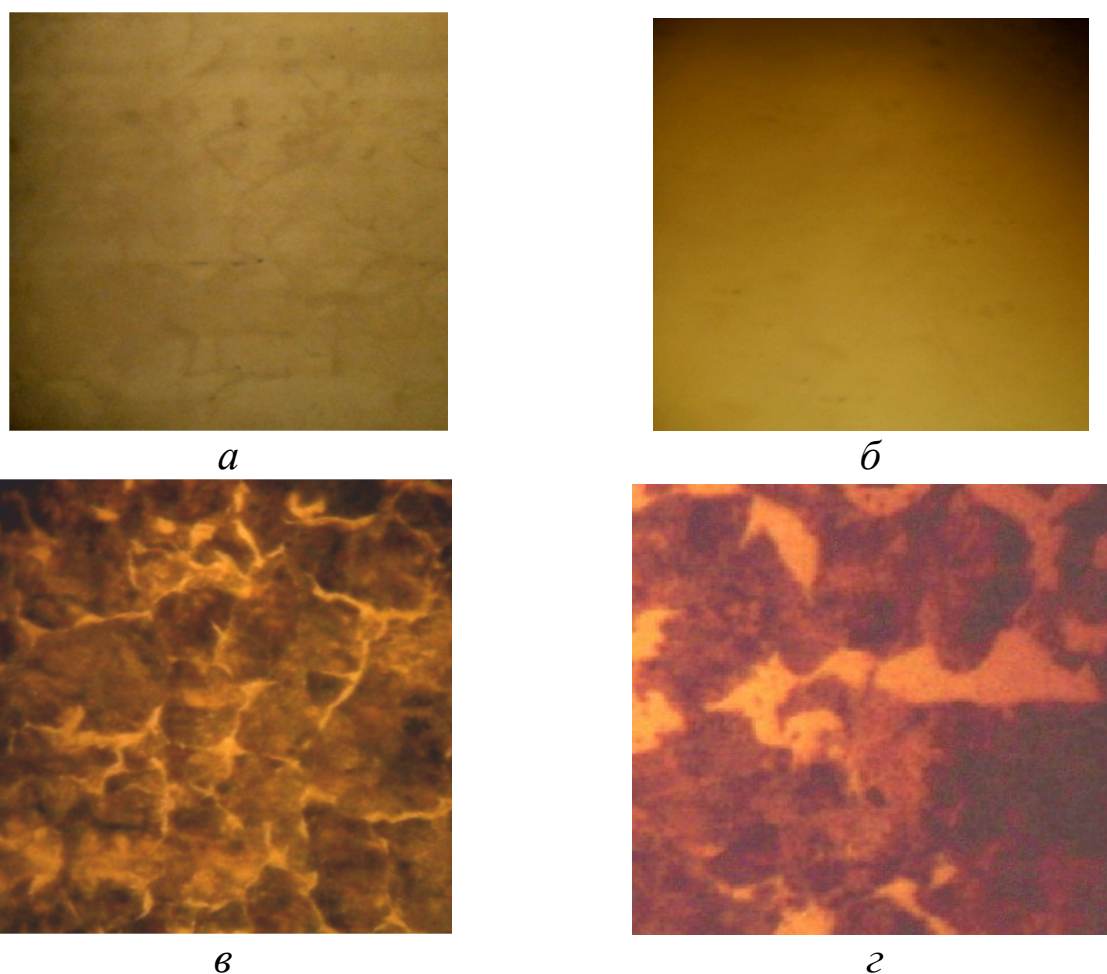


Рис. 1. Микроструктура образца до травления в поперечном (*а*) и продольном направлении (*б*); после травления: *в* – в поперечном, *г* – в продольном

Особо необходимо отметить, что сталь 40Х относится к категории флокен-чувствительных сталей, что означает повышенную predisposedность к насыщению водородом и образованию мелкой пористой структуры. Флокены являются опасным дефектом,

который резко уменьшает механические характеристики сталей. Диагностика флокенов сложна и даже невозможна из-за их малых размеров. Флокены выглядят как мелкие поры хлопьевидной формы размером 0,001–2,5 мм. В данной стали образование флокенов возможно в связи с содержанием Мо менее 0,0039%.

В целом можно заключить, что по всем параметрам металловедческого анализа сталь хорошего качества, несовершенства в которой носит только локальный характер.

По результатам проведенных исследований все изломы, представленные для анализа, усталостные, возникшие при высоких напряжениях в местах с различными типами концентраторов напряжений. Такие концентраторы напряжений возникают всегда в процессе изготовления заготовки для деталей и при их последующей механической обработке. В момент зарождения усталостной трещины, вероятно, нагрузки на деталях с дефектами превышали предел прочности.

Выводы.

В большинстве случаев причинами разрушений валов являются не заводской брак, а их нарушения в условиях их эксплуатации.

Для устранения дефектов валов ШВП необходимо применять отжиг при температуре 130–150 °С в течении 12 часов. При такой обработке в стальной детали снимаются внутренние напряжения 1-го рода (в связи с процессами отжига и рекристаллизации в металле).

В случае колесной пары можно рекомендовать следующее: изменить методику контроля колесных пар тепловозов, которые эксплуатируются более 10 лет. Расширить количество применяемых для анализа методов, например, применять люминисцентную дефектоскопию, метод керосиновой пробы, расширенный органолептический контроль или метод акустической эмиссии. Для этого необходимо привлечь специалистов по неразрушающему контролю соответствующего профиля.

Концентраторы напряжений возникают всегда при изготовлении деталей, поэтому такие конструктивные элементы как острые углы необходимо скруглять, делая галтели, фаски, а переход с большего диаметра на меньший выполнять под конус.

Литература

1. Разработка износостойкого сплава на основе системы / С.Л. Евтифеев, Д.О. Крушельницкий // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Харків : Вид-во НТУ «ХПІ». – 2017. – Вип. 1 (27). – С. 48–58.

2. Extended Root Dental Implants / S.L. Yevtifyeyev, I.V. Prokopovich // Біомедична інженерія. – 2017 р. – Вип. 4. – С. 11–15.
3. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справ. / В.М. Гребеник, В.К.М. Цапко. – М. : Металлургия, 1980. – 344 с.
4. ГОСТ 1778 – 70. «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений».
5. ГОСТ 8233 – 56. «Сталь. Эталоны микроструктуры».
6. ГОСТ 5639 – 82. «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна».
7. Инструкция по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. №ЦТ-329 (с изменениями и дополнениями, утвержденными указанием МПС России 23.08.2000 № К-2273у). – М. : МПС России, 2000. – 80 с.
8. Методика определения причин изломов шеек осей и разрушения роликовых буксовых узлов / С.Г. Иванов, С.Х. Флюменбаум, А.В. Фованова. – М. : ВНИИЖТ, 2008 г. – 107 с.
9. Ремонт механического оборудования тепловозов / Б.В. Скуев. – М.: Транспорт, 1991. – 170 с.
10. Шура Е.А. Фрактография и атлас фрактограм: Справ. – М. : Металлургия, 1982. – 489 с.
11. Новокщеновой С.М., Виноград М.И. Дефекты стали: Справ. – М. : Металлургия, 1984. – 199 с.

*Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б., Минина Н.А.,
Кулагин С.П., Томенко А.К. Институт металлургии
и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия*

ЭФФЕКТ СНИЖЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА В95 С ПОМОЩЬЮ ПОКРЫТИЯ

Известно, что изделия в виде замкнутых подкрепленных оболочек из листовых материалов, нагруженных внутренним давлением, работают на изгиб. При этом наружная поверхность оболочки находится под действием напряжений растяжения. Это обстоятельство существенно влияет на условия зарождения и развития поверхностных трещин. Целью настоящей работы явилась экспериментальная проверка возможности влиять на эти условия с помощью нанесения

металлических покрытий. Такие покрытия предполагается наносить на участках поверхности, находящихся в наиболее сложных напряженно-деформационных условиях. В качестве материала покрытий целесообразно использовать металлы, которые в соединении с материалом основы сплава образуют мелкодисперсные выделения вторичных фаз. Экспериментальная проверка изложенных соображений была проведена на малогабаритных образцах алюминиевого сплава В95 с трещиной-надрезом. Выбор меди, в качестве материала покрытия, обусловлен способностью меди в контакте с алюминием при повышенных температурах образовывать мелкодисперсные зоны Генье-Престона. Для того, чтобы интенсифицировать диффузионное проникновение атомов меди в алюминиевую матрицу, материал образцов был подвергнут криомеханической обработке, которая включала три стадии: закалку с $T = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$, деформирование сжатием (осадка на 0, при температуре жидкого азота цилиндрической области с диаметром 14 мм. у вершины надреза, старение при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 40 мин. Перед проведением старения на одну из поверхностей образца было нанесено покрытие из меди толщиной $\sim 17\text{ мкм}$. Используя метод фотометрического анализа структурных изображений, были получены значения коэффициентов интенсивности напряжений, через которые выражаются компоненты тензора напряжений в заданных направлениях от вершины надреза. По данным фотометрического анализа структурных изображений были получены значения структурной поврежденности материала в тех же выделенных направлениях на обеих сторонах образца. В результате проведенной работы было установлено, что трещины на поверхности, на которую было нанесено покрытие, распространяются при напряжениях в 2,6 раз большие, чем на стороне без покрытия. При этом трещины распространяются в периодическом режиме, при котором стадии развития пластической зоны перед вершиной трещины сменяются стадиями распространения трещины через нее на обеих сторонах исследуемых образцов. Однако, при нагружении образцов до 600 кг, в областях, в которых структурная поврежденность в пластических зонах перед вершиной надрезов падает от 1 до 0, формируется при напряжениях в интервалах 150–200 МПа для стороны без покрытия и 400–840 МПа на стороне с покрытием. Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность повышения трещиностойкости с помощью нанесения тонкого медного покрытия.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 17-08-00098а).

*Иванов А.А., Присяжнюк П.Н., Луцак Д.Л.,
Луцак Л.Д. Ивано-Франковский национальный
технический университет нефти и газа
Сенютович А.Р. ООО МНПЦ “Епсилон ЛТД”,
Ивано-Франковск, Украина*

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Fe-Ti-B-C-Cr

При поиске альтернативы вольфрамовым износостойким материалам ученые исследуют материалы в системах, содержащих карбидоформирующие элементы IV-VI группы периодической системы элементов [1, 2]. Обычно это сплавы на основе хрома [3] с незначительными добавками Ti, Nb, Mo. Однако наплавленный слой такого материала почти полностью состоит из эвтектики, которая характеризуется каркасной грубодисперсной структурой с низкой трещиностойкостью [4], а карбиды хрома характеризуются низкой твердостью (16–20 ГПа). Более перспективной для исследования является система с увеличенным содержанием титана, растворимость которого в Fe не превышает ~1%, кроме того карбиды титана характеризуются высокой (~30 ГПа) твердостью, дополнительно легированная другими элементами.

Как метод получения износостойкого покрытия, было выбрано наплавление порошковыми электродами. Метод выгоден тем, что можно, без особых технологических сложностей, получать значительное по твердости износостойкое покрытие (> 60 HRC). Он позволяет получать наплавленный слой толщиной до 5 мм за один проход электрода, не требует особого оборудования и дополнительной подготовки поверхности. Также важно то, что можно регулировать свойства наплавки изменяя состав и процентное содержание исходных элементов в порошковых электродах.

За основу для исследования было выбрано серийные безвольфрамовые электроды ЭП-ТВ-2-40, Ивано-Франковского производства, предприятия МНПЦ «Эпсилон». Стальная оболочка электрода изготовлена из стали 08кп, химический состав электрода указан в табл. 1. Наплавленный слой материала характеризуется высоким значением износостойкости в условиях абразивного износа и высокой твердостью (~65 HRC). Кроме того, стоимость таких электродов значительно ниже вольфрамосодержащих аналогов.

Таблица 1 – Химический состав порошковых электродов

Содержание хим. элемента, % мас.						
Ti	Cr	B	C	Ni	Si	Fe
6	2	6	2,2	1	1	остальное

Таблица 2 – Результаты спектрального анализа наплавки электродом

Спектр	хим. элемент, % мас.					
	B	C	Ti	Cr	Fe	Mn
1	9,35	8,85	0	13,61	67,32	0,88
2	0	12,01	68,92	1,88	17,20	0

Как видно из рис. 1 и табл. 2, в покрытии присутствуют фазы которые отличаются цветом и формой, а, соответственно, и плотностью и твердостью.

Кубическая фаза (спектр 1) представляет собой зерна карбоборида хрома, равномерно распределенные в эвтектической матрице, темная фаза (спектр 2) представляет собой зерна TiC , которые выступают в роли модификаторов для образования карбоборида хрома.

Таким образом, можно сделать вывод, что износостойкие материалы на основе титана и хрома представляют собой твердые сплавы (~ 65 HRC) и являются перспективными для легирования химическими элементами, такими как Nb и V, для предоставления дополнительных свойств, в частности устойчивости к динамическим нагрузкам.

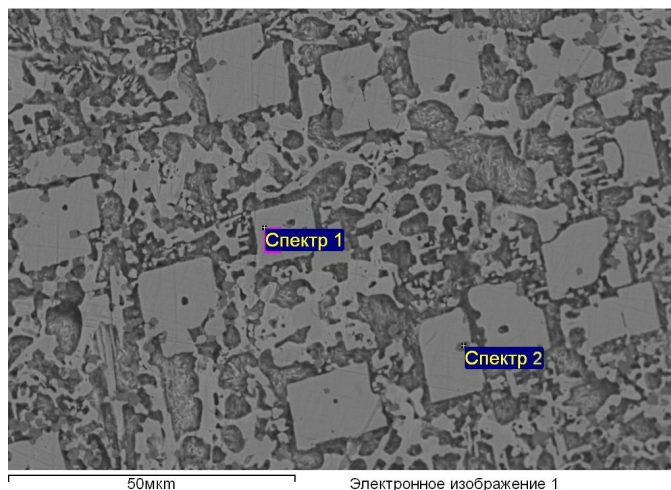


Рис. 1. Микроструктура наплавленного слоя электрода и результаты МРСА (табл. 2)

Литература

1. Effect of Ti additive on $(Cr,Fe)_7C_3$ carbide in arc surfacing layer and its refined mechanism / Y. Zhou, Y. Yang, J. Yang, et al. // Appl. Surf. Sci. – 2012. – 258. – P. 6653–6659.

2. Filipovic M., Romhanji E. Strain hardening of austenite in Fe–Cr–C–Valloysunder repeated impact // *Wear* / – 2011. – 270. – P. 800–805.

3. Tabrett C.P., Sare I.R., Ghomashchi M.R. Microstructure-property relationships in high chromium white iron alloys // *Int. Mater. Rev.* – 1996. – 41. – P. 59–82.

4. (Fe,Cr)₇C₃/Fe surface gradient composite: Microstructure, microhardness, and wear resistance / F.Y, M. Hojamberdiev, Y. Xu et. al. // *Materials Chemistry and Physics*. – 2014. – Vol. 147, № 3. – P. 823–830.

*Клименко С.А., Манохин А.С., Конейкина М.Ю.,
Клименко С.Ан. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина*

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С PcBN

Высокоскоростная обработка деталей из закаленных, коррозионно-стойких, жаропрочных сталей режущими инструментами с PcBN характеризуется повышенными термобарическими нагрузками на их контактных поверхностях. В процессе резания средняя температура в зоне контакта достигает ~ 1200 °С (на локальных участках контакта возможна температура > 2000 °С), что приводит к интенсификации химических и диффузионных процессов, разрушению инструмента.

Важным условием длительной работы инструментов с PcBN является снижение теплонапряженного состояния в зоне резания. Практическое решение поставленной задачи возможно за счет выбора оптимальных условий резания, конструкций инструментов, а также использования новейшие приемов организации процесса охлаждения, что позволяет изменять тепловой режим процесса обработки на различных участках зоны резания.

Главным источником тепла в контактной зоне является теплота от трения стружки о переднюю поверхность инструмента и теплота от деформации самой стружки.

Действенным способом уменьшения температуры режущих инструментов является применение в их конструкциях систем внутреннего теплоотвода, для которого характерно снижение температуры резания за счет перераспределения тепловых полей и быстрого

отвода теплоты из зоны резания. В широком диапазоне температур инструменты с внутренним теплоотводом позволяют проводить обработку со скоростями, которые на 25–30% выше, по сравнению с обычными инструментами, при этом их износ 1,5 раза меньше, что дает возможность интенсифицировать режимы обработки, увеличив производительность процесса обработки.

Существенную роль на работоспособность режущих инструментов с PcBN оказывает технологическая среда (ТС). При правильно выбранном составе жидкой (газообразной) среды и способе ее подачи в зону обработки можно значительно снизить интенсивность трения на контактных участках «инструмент-деталь-стружка», уменьшить тепловыделение и интенсифицировать отвод теплоты с контактных участков. В результате стойкость инструмента повышается до 70%.

Для инструментов с PcBN рекомендуются жидкие ТС с присадками для сверхвысоких давлений. В результате их химического взаимодействия с BN на поверхностях инструментов образуется пленка твердой смазки, которая обеспечивает минимизацию трения и повышает способность PcBN сопротивляться действию переменных температур в процессе резания.

Газообразные среды так же могут оказывать существенное влияние на стойкость инструмента за счет минимизации окисления инструментального материала и интенсивности его химического взаимодействия с обрабатываемым.

Способ подачи ТС в зону резания должен учитывать условия обработки: при низких температурах резания охлаждение происходит за счет передачи тепла ТС, при увеличении температуры распыление ТС в зоне резания разрушает паровую пленку и эффективность отвода теплоты возрастает, при более высокой температуре паровая пленка становится более плотной и эффективность охлаждения туманом уменьшается.

Исходя из требований экологии, а также по ряду технологических и технических причин, в настоящее время имеет место тенденция минимизации использования ТС в процессах обработки.

Одним из основных современных направлений повышения стойкости инструментов с PcBN является нанесение на их рабочие поверхности защитных покрытий. В настоящее время в мире более 60% инструментов изготавливается с покрытиями.

В каталогах продукции мировых производителей инструментов и в технической литературе появилась информация об инструмен-

тах, которые оснащены PcBN с покрытиями. Для минимизации износа режущего инструмента за счет снижения интенсивности адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом применяются покрытия TiN , TiAlN , TiSiN , а для минимизации интенсивности окислительных процессов – покрытие, содержащее Al_2O_3 .

Нанесение покрытий на поверхности режущих инструментов приводит к перераспределению тепла, образующегося в зоне резания, в результате чего большинство образовавшегося тепла переходит в стружку, уменьшая тепловую нагрузку на инструменты и обрабатываемые детали.

Отмеченный эффект обусловлен снижением интенсивности трения на контактных участках режущих инструментов, а также уменьшением длины контакта стружки с их передними поверхностями.

В некоторых случаях, применение покрытий позволяет отказаться от использования в процессах обработки ТС: например, при использовании покрытия TiAlN на инструментах, за счет снижения коэффициента трения и высокой теплопроводности покрытия, обеспечивается улучшенный теплоотвод из зоны резания и предотвращается образование трещин в инструментальном материале в процессе обработки, средняя температура резания снижается, а срок службы инструментов увеличивается.

Нужно отметить, что не всегда и не для всех покрытий на инструментах характерно снижение температуры резания: например, для уменьшения окислительных процессов на контактных участках инструментов с PcBN может быть использовано покрытие на основе Al_2O_3 – температура резания такими инструментами может несколько повыситься за счет большей высоты микронеровностей на поверхностях инструментов из-за неоднородности распределения электрического потенциала в процессе формирования покрытия на выступах и во впадинах на исходных поверхностях.

Перспективным направлением повышения стойкости инструментов с PcBN при высокоскоростной обработке является создание и применение новых сверхтвердых композитов группы BL (45–60% BN), в состав которых входит большого количества керамической связки с теплопроводностью существенно меньшей, чем теплопроводность BN. При работе такими инструментами основная часть тепла из зоны резания уходит в стружку, что способствует снижению интенсивности изнашивания инструмента.

Приведенный анализ подходов к повышению стойкости инструментов с PсBN показывает широкие перспективы его применения в современной металлообработке при обеспечении длительного срока работы, что обеспечивает не только технические, но и экономические показатели процесса обработки.

Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В.

Донбаська державна машинобудівна академія,
Краматорськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ОБРОБЛЕНИХ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ, ЗА ДОПОМОГОЮ ФОРСОВАНИХ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ

Проблема підвищення ефективності машинобудівного виробництва вимагає вирішення завдань підвищення продуктивності механічної обробки, зниження витрат на різальний інструмент і простою обладнання, пов'язаного з відмовами інструменту та його заміною.

Встановлено, що модифікація твердих сплавів обробкою імпульсним магнітним полем призводить до підвищення їх однорідності, зменшення товщини тріщинуватого шару, стабілізації механічних характеристик, зростання границі міцності на згин.

Мета цієї роботи полягала в тому, щоб дослідити вплив імпульсного магнітного поля на міцність і зносостійкість твердосплавних різальних інструментів для підвищення продуктивності механічної обробки і зниження собівартості операції і інструментальних витрат.

Відпрацьовано технологічні режими обробки імпульсним магнітним полем та комбінованими технологіями (ОІМП + вакуум-плазмове покриття) зразків з інструментальних матеріалів та твердосплавних різальних пластин.

Обґрунтовано застосування методу «руйнуючої подачі» для лабораторної та виробничої оцінки конструкційної міцності твердосплавних пластин. Метод ступеневого збільшення режимів різання (подачі і швидкості різання) дозволяє реалізувати принцип екстраполяції за навантаженням шляхом поступового збільшення навантаження по міцності і швидкості зношування інструментального матеріалу.

Було виявлено, що при чорновій обробці матеріалів твердосплавними різальними інструментами, зміцненими ОІМП, відбувається багаторазовий приробіток інструменту з декількома ступенями уповільнення і прискорення процесу зношування, що обумовлює підвищення зносостійкості твердосплавних різальних інструментів, які пройшли ОІМП (рис. 1, а). Як видно на рис. 1, б, де показаний характер зміни швидкості зносу, на першому ступені швидкість зносу падає до певної стабілізації процесу, а в подальшому різко зростає і на другому ступені знову відбувається падіння до стабілізації.

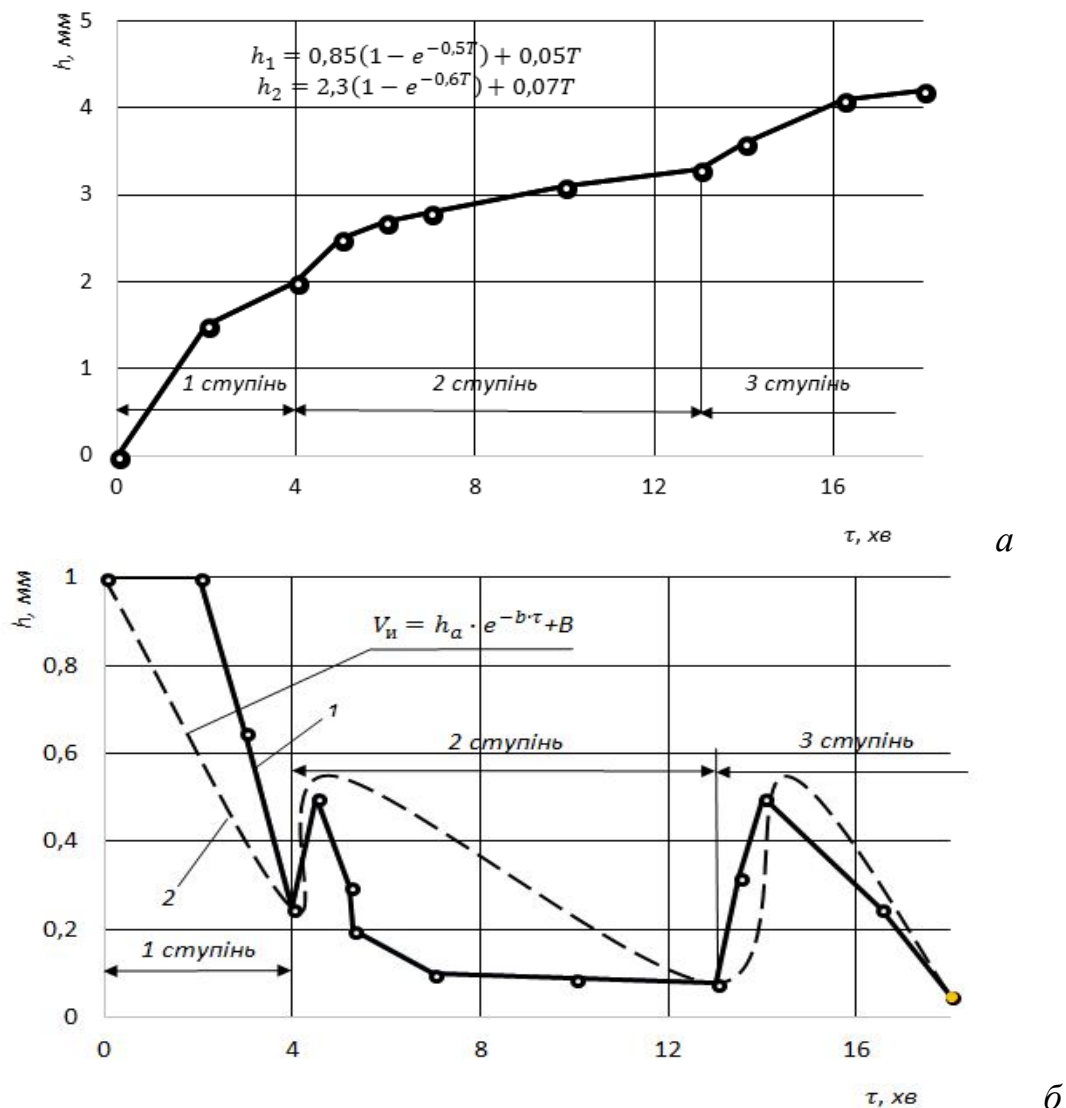


Рис. 1. Уповільнення і прискорення процесу зношування інструменту, обробленого ОІМП:

а – характер зносу інструменту; б – зміна швидкості зносу інструменту:
 1 – експериментальна крива; 2 – теоретична крива (T – стійкість інструменту;
 τ час роботи інструменту; h_a – приробіточний знос; B – стала швидкість зно-
 шування; b – показник швидкості приробітки, який залежить від умов різання,
 матеріалу інструменту, деталі, параметрів технологічної системи)

Існуюча концепція, згідно з якою після прискореного зносу починається стадія катастрофічного зносу з прогресуючою втратою ріжучих властивостей, для твердосплавного інструменту, який пройшов ОІМП, не завжди знаходить експериментальне підтвердження. Для більшості різальних інструментів, які пройшли ОІМП, зносостійкість в процесі приробітку підвищується.

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

ФОРМИРОВАНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕЧНЕЙ И РЕГЛАМЕНТОВ ОБРАБОТКИ ПРИ НЕВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Формирование ограничительных перечней, унификация инструментов и элементов деталей на предприятии весьма трудоемки, при постоянно растущих: номенклатуре изделий, количестве применяемых инструментов и получаемых при обработке поверхностей деталей. Поэтому определение рациональных выборок из генеральной совокупностей конструктивно-технологических элементов, деталей и инструментов в условиях их периодической смены при переналадке производства особенно актуальны.

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

В такой ситуации наиболее целесообразен путь постепенного формирования базы данных и периодической статистической обработки информации с целью получения ограничительных перечней. Пересмотр информации может быть закончен, когда последующий получаемый ограничительный перечень совпадает с предыдущим. Он

может быть существенно сокращен, если формирование базы данных осуществлять в соответствии с определенными приоритетами, такими как серийность производства, величина партий деталей, степень сложности изделий, периодичность, стабильность заказов и др.

Обработанные статистические данные в виде гистограмм и полигонов частот по использованию материалов, деталей, конструктивно-технологических элементов, режущих и материальных инструментов, средств оснащения и оборудования позволяют формировать ограничительные перечни на эти объекты и создавать регламенты их использования в технологических процессах.

Прежде всего, полученная статистика использования конструкционных материалов позволяет объединить их в группы применимости по эксплуатационным свойствам и в группы обрабатываемости. Применяемость с учетом состояния поставки (отливки, поковки, сортамента и т.п.) позволяет рассмотреть возможности замены исключаемого материала другим из группы с аналогичными физико-механическими свойствами и сформировать ограничительный перечень. Группы обрабатываемости используются при назначении режимов механической обработки в технологических регламентах применения режущих инструментов.

Статистика использования деталей анализируется как с позиций стандартизации для составления ограничительных перечней на их типоразмеры и исполнения, так и с оценками возможностей перехода на типовые технологические процессы для формирования регламентов обработки и восстановления отобранных типов деталей.

Анализ применимости оборудования и средств оснащения (как универсальных, так и специальных, поставляемых в комплекте с оборудованием) целесообразно проводить при аттестации рабочих мест.

Процедуры формирования ограничительных перечней конструктивно-технологических элементов и инструментов для их получения и контроля, а также создания регламентов технологических и метрологических операций в наибольшей степени зависят от специфики конкретного производства. Для предприятия, выпускающего большую номенклатуру продукции и оказывающего широкий спектр услуг по запросам заказчиков, рекомендуются различные методы формирования ограничительных перечней:

1. При обширной информации об унифицируемых объектах (обычно для большой номенклатуры изделий) целесообразно анализировать все моды – локальные максимумы на кривых распределе-

ния или полигонах вероятностных характеристик. Изучение рассеяния параметров в окрестностях моды необходимо проводить в сопоставлении с законом распределения случайных величин Лапласа или нормальным законом распределения. При удовлетворительном соответствии полученного распределения теоретическому, моду на изученном интервале можно принять в качестве позиции для ограничительного перечня, а все остальные позиции в ее окрестности по возможности убрать для того, чтобы пользоваться единой.

2. В случае, когда при описании объектов (чаще всего типовых деталей) имеются сведения о предпочтительных интервалах использования параметров (элементов и инструментов), эти интервалы на полигоне распределения или гистограмме разбиваются на участки размером меньше, чем другие. На каждом участке определяются моды распределения вероятностных характеристик, причем шаг разбиения участка для поиска абсолютного максимума также может быть уменьшен.

3. Когда отсутствует достаточная информация об унифицируемых объектах (выпускаемых по специальным заказам, в обслуживающем производстве и т.п.), рационально использовать наиболее простой метод разбиения статистического распределения параметров на равные интервалы гистограммы в соответствии с числом позиций, которые целесообразно оставить после унификации. Последующий поиск абсолютных максимумов распределения на всех интервалах разбиения позволяет предложить позиции для начального варианта ограничительного перечня.

Выбор ограниченного числа позиций для унификации и последующей регламентации может производиться в определенной последовательности по частоте применения (например: конструктивно-технологических элементов, их размеров и т.п.) или продолжительности использования (например: инструментов, средств оснащения и др.). Наивысшим приоритетом обладают наиболее часто встречающиеся объекты производства, а также объекты, длительность использования которых в производственных процессах максимальна.

Таким образом, рекомендовано проводить статистическую обработку технологических данных на основе нормального закона распределения случайных величин или закона Лапласа для случаев, когда измеряемые характеристики нестабильны, а точность измерений неизвестна или встречаются ошибки классификации и кодирования. Ограничительные перечни при обширной информации об унифици-

руемых объектах рационально формировать по результатам анализа локальных максимумов на кривой распределения, а при наличии сведений о предпочтительных интервалах использования объектов эти интервалы следует разбивать на участки с малым шагом.

*Кравчук Л.В., Буйских К.П., Задворный Е.А.,
Феофентов Н.Н., Киселевская С.Г.* Институт проблем
прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕСУРС ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН

Актуальность данных исследований обусловлена реальным состоянием энергетических комплексов, когда базовые агрегаты большинства энергоустановок находятся на грани установленного ресурса или его исчерпали, что вызывает необходимость обоснованного безопасного продления установленного ресурса.

Поэтому целью настоящих исследований была разработка обоснованных методов анализа кинетики повреждения материалов в процессе эксплуатации с учетом взаимовлияния термонапряженно-деформированного (ТНДС) состояния и измененных характеристик деградированного слоя для апробации и системного внедрения ремонтных технологий с целью продления ресурса.

Для решения поставленных задач были разработаны методы экспериментального и численного моделирования эксплуатационных условий нагружения материала элемента конструкции, задействованы известные и оригинальные пакеты программ для определения пространственного напряженно-деформированного состояния, методы металлографического и спектрального анализа.

Различные механизмы повреждения поверхностных слоев материалов конструкционных элементов исследовались на клиновидных образцах, испытанных на газодинамическом стенде Института проблем прочности имени Г.С. Писаренко НАН Украины, при моделировании условий работы сопловых лопаток ГТД.

Исследование структуры и элементного состава поверхностного деградировавшего слоя проводили как до образования трещины, так и в зоне трещины термической усталости. При анализе стадии повреждения материала элемента конструкции, которая характеризуется наличием трещин термической усталости, акцентируется внимание на процессах в различных зонах трещины. Особенность исследований состояла в том, что анализировались трещины термической усталости, которые возникли в разных зонах клиновидного образца, отличающиеся различным термонапряженным состоянием, а, следовательно, разной степенью повреждения поверхностного слоя и кинетикой трещин термической усталости в зависимости от наработки и воздействия агрессивного газового потока после их возникновения.

Исследование повреждения поверхностного слоя материала наиболее нагруженных элементов конструкций газотурбинных двигателей при термоциклической нагрузке показали существенные изменения структуры и элементного состава материала этого деградировавшего слоя, как на стадии до появления трещин термической усталости, так и в устье и вершине трещин в процессе их распространения. Интенсивность изучаемых процессов показала необходимость их учета при расчетах теплового и напряженно-деформированного состояния высокотемпературных элементов конструкций газотурбинных двигателей. Расчетная оценка ТНДС основывалась на экспериментальных данных о кинетике теплового состояния моделей лопаток ГТД и металлографических исследованиях кинетики структурного состояния материала, что обеспечило возможность проведения масштабных расчетов с учетом значимости влияния деградированных слоев и образованных трещин термической усталости.

Решение задачи по определению ТНДС исследуемых образцов, моделирование влияния указанных факторов на НДС образцов проводилось в пространственной постановке. Учитывая пространственную и временную неоднородность тепловых процессов и процессов повреждаемости материала, характерную для лопаток ГТД, тепловое состояние материала клиновидного образца определялось при решении нелинейной пространственной задачи нестационарной теплопроводности при смешанных граничных условиях теплообмена. Определение граничных условий третьего рода проводилось путем решения задачи обтекания исследуемой модели газовым потоком методами численного моделирования.

В результате проведенных исследований показана определяющая роль в исчерпании ресурса элементов конструкций энергетических машин процессов деградации свойств, структуры и элементного состава поверхностного слоя материала в зонах экстремальных температур и напряжений.

Установлено, что при решении проблемы оценки ресурса высокотемпературных элементов конструкций ГТД, принципиальным является оценка взаимовлияния степени деградации поверхностного слоя материала и напряженно-деформированного состояния исследуемого элемента конструкции.

Показана необходимость корректировки методов прогнозирования ресурса, в частности учета реальных свойств измененного деградированного слоя или материала ремонтной зоны, наличия микрповреждений типа трещин термической усталости при выборе моделей предельного состояния и расчете кинетики ТНДС элемента конструкции.

Для принятия решений о текущей работоспособности конструктивных элементов энергетических машин, корректной оценки их остаточного ресурса и ремонтпригодности обоснована необходимость учета особенностей повреждения на различных стадиях эксплуатации и целесообразность поэтапного выбора ремонтной технологии.

*Кривошеков В.Е. Учебно-исследовательский Центр
«Надёжность в судоходстве», Одесса, Украина*

ОДА ОПЫТНЫМ РАБОТНИКАМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ

Older workers are making a comeback

I pay attention: Older workers, but not the Old leaders!

Старые рабочие возвращаются.... Обращаю внимание:

Пожилые работники, но никак не Старые руководители!

/By Craig Torres and Catarina Saraiva.

Ford Motor Co., IBM, Barclays Plc и Booz Allen Hamilton Inc. – вот лишь некоторые из мировых корпораций, нацеленных сейчас на работников с предыдущим опытом, которые по разным причинам оказались вне задействованной в США рабочей силы.

Напомним, рассматривая в 2015 г. несколько значимых и сложившихся в мире за последнее десятилетие технологических трендов и подходов к инжинирингу по данным зарубежных интернетовских источников, обобщающих мнения мировых экспертов из высокоразвитых стран, мы указывали следующую из них: «...9. Возвращение производства домой (Manufacturing Returning to Home) и «Затягивание/замыкание петли» менеджмента качества (Closing the Loop on Quality Management)» [1]. По последним исследованиям Bloomberg [2] рынок труда в США растет с каждым месяцем, а уровень участия в нём рабочей силы снижается, поэтому корпорации начинают прибегать к опытным работникам, которые хотят вернуться в рабочий мир. Этот шаг знаменует собой крупный поворот удачи для пожилых работников Америки, которые пострадали во время последней рецессии, имеют вынужденный пробел в трудовой активности, например, по уходу за детьми, и страдают сейчас в первую очередь от предвзятости по возрасту в процессе найма. Компании видят, что многие из этих работников приносят им ценный опыт и навыки и дешевле обходятся. Согласно этому исследованию, репатрианты рабочей силы стоят на 25% меньше, чем наём сопоставимых работников, которые в настоящее время занимают рабочие места.

Далее в докладе раскрывается суть и краткое содержание результатов исследований современного рынка труда, рекомендаций по найму опытных бывших работников, предпринимаемых действий государственных органов власти США и топ менеджеров многих транснациональных корпораций.

Очевидно, государственная стратегия, позволяющая рынку труда снизить уровень безработицы, который соответствует полной занятости – это азартная игра, как для государства, так и для корпораций. Однако, согласно этой стратегии экономика США будет работать (и уже работает) с прибылью, заставляя больше людей работать, не вызывая нежелательной инфляции.

Литература

1. Кривошеков В.Е. Несколько значимых трендов современных мировых промышленных технологий // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Мат. 15-го Международ. науч.-техн. семинара, 23–27 февраля 2015 г., г. Свалява. – К. : АТМ Украины, 2015. – С. 81–83.

2. C. Torresб C. Saraiva. Low Unemployment Healing U.S. Job Market's Ugly Secret . – 15 ноября 2017 г. – 7 с.- [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-11-15/low-unemployment-healing-u-s-job-market-s-ugly-secret-age-bias>.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАЛЕЧИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОР И ТРЕЩИН В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ НИКОТРИРОВАННЫХ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ С РЕСУРСНЫМ СМАЗЫВАНИЕМ

Залечивание трещин и пор происходит на начальном этапе действия восходящей диффузии под действием динамического сжатия $\sigma_{\text{цикл}}$ и напряжения $\sigma_{\text{диф}}$, определяющих диффузионный процесс в поверхностной зоне. Устойчивость трещин и пор к схлопыванию определяется зависимостью [1]

$$l > \sqrt{bL}, \quad (1)$$

где b – вектор Бюргерса; L – длина технологических пор и трещин.

Принимая значения $b = 2,25 \cdot 10^{-10}$ м, $L = 10^{-5}$ м, получим $l > 5 \cdot 10^{-7}$ м.

Так как размеры большинства пор и трещин удовлетворяют условию (1), то процесс произвольного схлопывания отсутствует. В то же время, как показали исследования [1, 2], при динамическом сжатии данный процесс реализуется, причём сжатие происходит по дислокационному механизму. При сжатии увеличивается подвижность дислокаций, приводящая к изменению волновой картины и сопутствующему увеличению температур [2, 3]. В работах [4, 5] установлено, что при некоторых режимах динамического нагружения вблизи трещины происходит активизация дислокационных источников, сопровождающаяся заметным уменьшением трещины, то есть имеет место процесс залечивания трещины.

В последние годы для более детального изучения динамики за-
лечивания пор и трещин на атомном уровне используется молеку-
лярно-динамическое моделирование. Для моделирования был
сформирован кристаллит α -Fe из $6 \cdot 10^4$ атомов. В кристаллите фор-
мировалась шарообразная пора диаметром $4 \cdot 10^{-9}$ м (рис. 1, *а*). При
температуре 600 К кристаллит подвергался сжатию с напряжением
 $\sigma_{\text{цикл}}$ и одновременному воздействию диффузионного напряжения
 $\sigma_{\text{диф}}$. После 1500 шагов моделирования ($\tau = 1,5 \cdot 10^{-13}$ с) произошло
частичное залечивание поры (рис. 1, *б*). Залечивание поры полно-
стью завершилось после 2000 шагов ($\tau = 2,5 \cdot 10^{-13}$ с) (рис. 1, *в*).

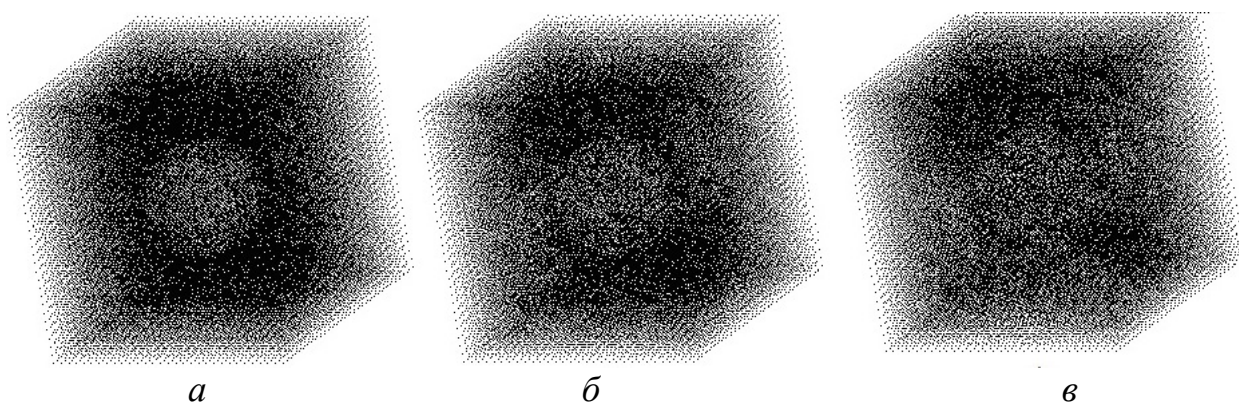


Рис. 1. Стадия залечивания пор: *а* – $\tau = 0$; *б* – $\tau = 1,5 \cdot 10^{-13}$ с; *в* – $\tau = 2,5 \cdot 10^{-13}$ с

Аналогичные процессы имеют место и при залечивании трещин.
Под влиянием диффузионных процессов размеры трещины умень-
шаются с одновременным изменением её конфигурации (рис. 2, *а–в*).

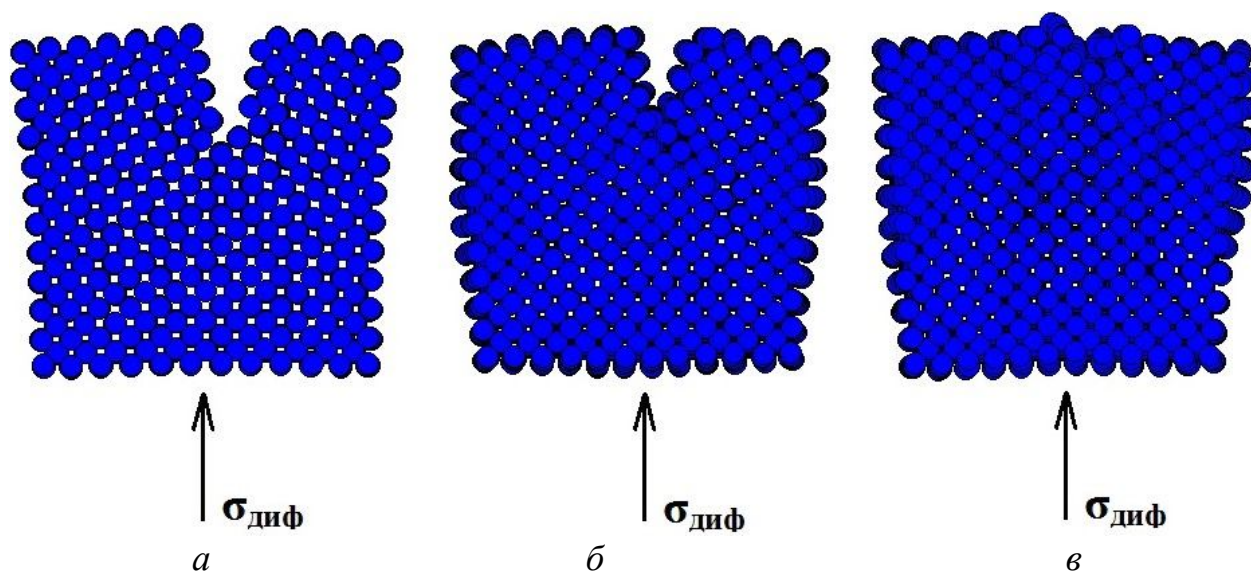


Рис. 2. Моделирование процесса залечивания трещин (аксонометрия):
а – 1000 шагов; *б* – 5000 шагов; *в* – 10000 шагов моделирования

Обобщая результаты моделирования, следует отметить, что трещины, как и поры, находятся в области хаотического столкновения атомов. В результате микронесплошности должны каким-либо образом трансформироваться. Каскад столкновений у края трещины, где напряжения и деформации максимальны, создаёт квазизжидкое состояние. При диссипации энергии и релаксации внутренних напряжений в этой области это приводит к уменьшению энергии, соответствующей процессу залечивания трещин и пор.

Литература

1. Диффузионно-дислокационный механизм залечивания изолированных пор / Я.Е. Гегузин, В.Г. Кононенко // Физика и химия обработки материалов. – 1982. – № 2. – С. 60–75.
2. Особенности импульсного МГД воздействия на микронесплошности в меди / В.И. Бетехтин и др. // Журнал технической физики. – 1989. – Т. 59, вып. 6. – С. 136–139.
3. Влияние статического и динамического сжатия на залечивание пор в меди / А.И. Петров и др. // Журнал технической физики. – 1998. – Т. 68, вып. 11. – С. 125–127.
4. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов / Под ред. М.А. Мейерса, Л.Е. Мурра. – М. : Металлургия, 1984. – 512 с.
5. Локализация пластической деформации при ударно-волновом нагружении титанового сплава с трещиной / А.И. Петров, М.В. Разуваева // Журнал технической физики. – 2003. – Т. 73, вып. 6. – С. 53–55.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПАЙКЕ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При получении разнородных соединений кобальта с титановыми сплавами образуются интерметаллические соединения, снижающие эксплуатационные характеристики. Избежать их образования, повысить качество и надежность паяных соединений позволяет ра-

циональный выбор химического состава припоя, использование технологических приемов при конструировании изделий, оптимизация параметров процесса пайки.

Основным методом повышения качества паяных разнородных соединений, таких как ковар - титан (нержавеющая сталь) служит использование никеля, меди в качестве защитных барьерных покрытий. Важной причиной, которая затрудняет получение покрытия на титане является высокое отрицательное значение потенциала титана и его стремление к переходу в ионное состояние. Этот процесс вызывает вытеснение из растворов электролитов более электроположительных металлов по сравнению с титаном, цинком, медью, серебром, никелем, хромом и др. В связи с этим для получения покрытий на титане необходимо проводить специальную подготовку поверхности с целью создания промежуточного подслоя, который нужен для защиты титана от окисления в процессе нанесения покрытия.

Промежуточный подслоя может быть сформирован благодаря образованию пленок:

- фторидной;
- гидридной;
- контактно-осажденного металла.

При нанесении фторидной и гидридной пленок, водород, который выделяется в атомарном состоянии, диффундирует в титановую основу, насыщает ее до образования гидридов титана (так называемая гидридная обработка). Активное травление с наводороживанием поверхности имеет место при обработке в кислых растворах, содержащих ионы никеля, создает риск частичного отслоения покрытия (особенно при нагреве), что снижает прочность сцепления, а также механические свойства соединений.

Для улучшения сцепления барьерного покрытия с титановой подложкой необходимо формировать промежуточный подслоя контактно-осажденного металла с использованием специально подобранной комбинации растворов. После нанесения промежуточного подслоя можно осуществлять нанесение основного слоя покрытия гальваническим или химическим путем.

В данной работе показана возможность получения барьерного покрытия с использованием промежуточного подслоя и специальной обработки, которые обеспечили хорошее сцепление с основным металлом и повышение прочности на срез паяных соединений.

После нанесения промежуточного подслоя и основного защитного барьерного покрытия пайку разнородных материалов ковар-титановый сплав проводили с использованием промышленного серебряного припоя.

С целью определения влияния предварительной обработки промежуточного подслоя и основного металла на прочность соединений паяли плоские (толщиной 1 мм) нахлесточные образцы ковар-титан. Для проведения экспериментов использовали заготовки титанового сплава с барьерным никелевым покрытием без предварительной обработки промежуточного подслоя, а также после предварительной обработки подложки и промежуточного подслоя. Пайку образцов осуществляли в вакуумной печи с радиационным нагревом, серебряный припой в виде пластичной ленты (толщиной 90 ± 10 мкм) располагали в зазоре. За одну садку паяли по три образца, температуру контролировали двумя термопарами (хромель-алюмель): одна находилась непосредственно на образце, вторая – в верхней зоне камеры. Термический режим нагрева при пайке был постоянный для всех образцов (рис. 1), который регистрировали при помощи специализированного аналогового-цифрового преобразователя.

Результаты механических испытаний паяных нахлесточных соединений, проведенные при комнатной температуре показали, что при вакуумной пайке без предварительной обработки прочность на

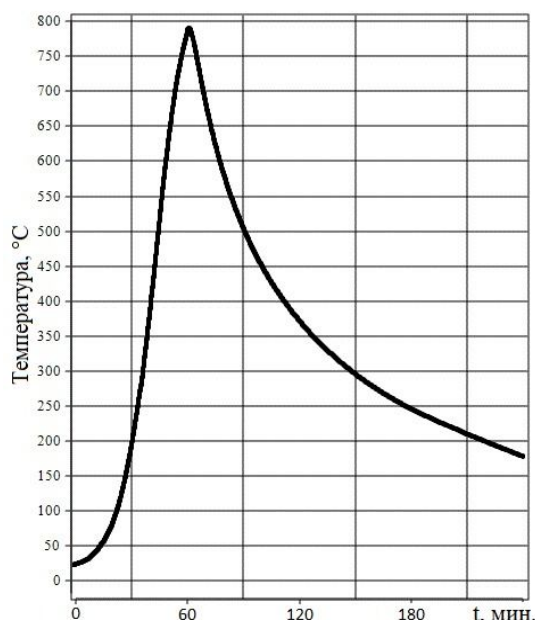


Рис. 1. Термическая кривая нагрева при пайке плоских нахлесточных образцов ковар-титановый сплав

срез ниже, по сравнению с прочностью паяных соединений, полученных с предварительной обработкой промежуточного подслоя и основного металла.

Экспериментально установлено, что проведение предварительной обработки промежуточного подслоя и основного металла приводит к повышению прочности на срез соединений ковар-титановый сплав на 30%.

Полученные результаты могут служить основой при создании конструкций различного назначения из разнородных материалов ковар-титан.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА

Процесс точения деталей сложного профиля в отличие от гладкого цилиндрического точения или обработки, например, ступенчатых валов имеет целый ряд отличительных особенностей, что накладывает специфические требования к инструменту и технологическим параметрам. Использование обрабатывающих центров и токарных станков с ЧПУ с широкими возможностями варьирования скорости резания, глубины точения и подачи инструмента подразумевает использование универсального резца, способного обрабатывать с одной установки выпуклые, вогнутые, конические, цилиндрические и торцовые поверхности детали. Для процесса чистового точения закаленных сталей и чугунов таким инструментом может быть резец, оснащенный круглой режущей пластиной из поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) с радиусом при вершине, меньшим наименьшего радиуса впадины образующей контура сложного профиля обрабатываемой детали.

Одной из важнейших особенностей сложнопрофильной обработки является непостоянство положения вершины резца на обрабатываемом контуре детали. Если при цилиндрическом либо коническом точении или подрезке торца реализуется относительно простая кинематика процесса с постоянными фиксированными перемещениями, то контурная обработка, например, тороидальной поверхности подразумевает одновременное и осевое, и радиальное перемещение инструмента. При этом вершина резца, взаимодействуя с деталью, не занимает своего постоянного положения, а как бы «перемещается» по режущей кромке в зависимости от радиуса выступа или впадины профиля, слева к оси резца и затем вправо, или наоборот, в зависимости от направления продольной подачи. При глубине, например, профиля впадины, близкой к ее радиусу, на входе и на выходе фактическая вершина резца будет приближаться к диаметрально противоположным боковым точкам на режущей кромке круглой пластины, а при точении дна впадины или вершины высту-

па, положение вершины резца смещается к продольной оси резца. Если использовать стандартную негативную пластину типа RNMN с механическим креплением под фиксированным передним и задним углами, то реальные углы будут соответствовать заданным только на дне впадины, а на входе и на выходе из нее задние углы будут критически уменьшаться, не создавая необходимого зазора для стружкообразования. Поэтому в ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины были разработаны специальные конструкции режущих пластин из ПКНБ специально для обработки сложнопровильных поверхностей. Они представлены на рис. 1.

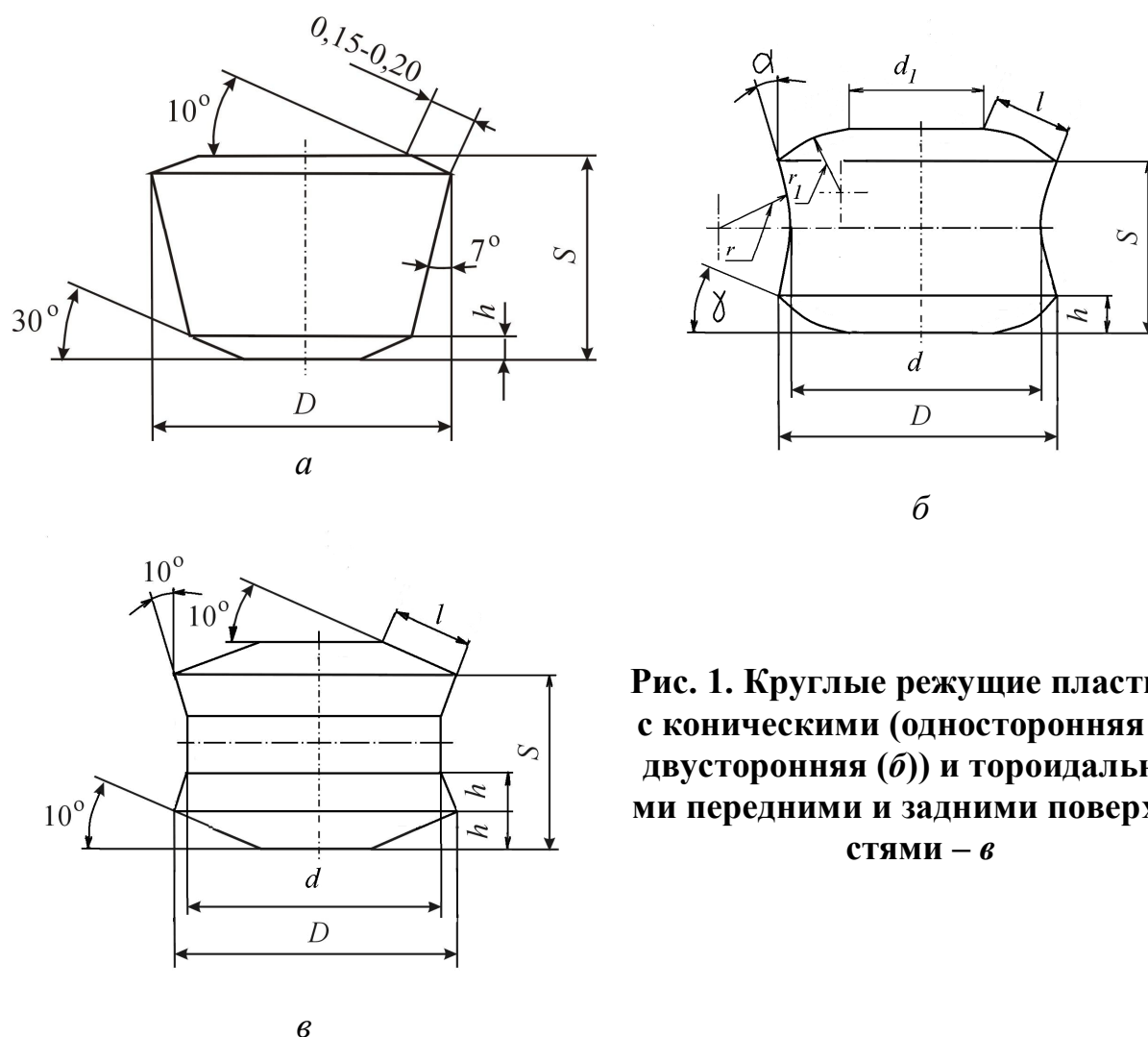


Рис. 1. Круглые режущие пластины с коническими (односторонняя (а), двусторонняя (б)) и тороидальными передними и задними поверхностями – в

Предложенные конструкции круглых режущих пластин обеспечивают постоянство передних и задних углов резца в любой точке на режущей кромке независимо от профиля контура обрабатываемой детали.

*Манохин А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Береснев В.М. Харківський національний університет ім. В.М. Каразіна, Харків, Україна*

НАНОСТРУКТУРНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ ПКНБ

Однією з основних тенденцій у створенні покриттів для різальних інструментів, є прагнення забезпечити нанорозмірність при формуванні, як структурних елементів покриття, так і окремих шарів в багатошарових композиціях.

Розглянемо основні підходи до створення наноструктурних покриттів для різальних інструментів з полікристалічними надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ), які практикуються в даний час.

Найбільш перспективними є нанокompозитні покриття. Це обумовлено поєднанням високих значень фізико-механічних властивостей, стійкості до окислення і дисоціації хімічних сполук, що входять до їх складу, обумовлених особливостями структури нанокompозитних плівок. Нанокompозитні структури бувають двох видів: – нітридна нанорозмірна фаза, яка введена в м'яке або тверде міжкристалічне середовище (nc-MeN/міжкристалічна фаза); – нанозерна одного матеріалу, які утворюють дві фази з різною кристалографічною орієнтацією, або суміш нанозерен різних матеріалів.

Велике поширення отримав перший спосіб створення покриттів, коли вони формується з нанозерен твердих нітридів перехідних металів з аморфною міжкристалітною фазою-матрицею з TiB_2 або Si_3N_4 , BN та інших нітридів, що утворюють ковалентні зв'язки. При конденсації нітридоутворюючих металів з введенням кремнію, зростання зерен TiN , $TiAlN$, $TiCr$ і т.д. пригнічується через те, що вони впроваджені в аморфну матрицю, товщина якої, виходячи з умови максимальної твердості покриття, становить кілька атомних шарів. Спостережувана висока твердість якісно пояснюється тим, що через малий розмір зерен зародження і ковзання дислокацій пригнічується, в той час як висока когезійна міцність тонкої міжзеренної фази блокує зернограничне ковзання [1]. Аморфна складова при цьому здатна щонайкраще узгоджуватися з поверхнею нанокристалів і забезпечити хороше зчеплення, що призводить до суттєвого підвищення міцності [2]. За

твердженням [3], дані покриття, за умови правильного підходу до їх нанесення, можуть володіти незвичайною комбінацією механічних властивостей, таких як висока твердість > 40 ГПа, високе пружне відновлення 80–94%, граничні пружні напруження $> 10\%$ і висока міцність на розтягнення (від 10 до більш ніж 40 ГПа), що близько до ідеальної міцності непластичних матеріалів. При цьому, наноструктура і відповідний їй надтвердий стан може залишатися стабільним при температурах, що перевищують 1100°C .

Найбільш дослідженими системами, що демонструють перспективи розвитку концепції нанокompозитних покриттів, є nc-TiN/ α -Si₃N₄ і nc-TiAlN/ α -Si₃N₄.

Припрацювальний шар на контактних поверхнях інструмента можливо сформувати зі сполук з аморфно-кристалічною низькомодульною структурою (α -BN, α -Si₃N₄ або α -TiB₂), які можуть виконувати роль твердого змащення. Подібна конструкція покриття знижує ймовірність крихкого сколювання в області, прилеглій до різальної кромки, що істотно подовжує період стійкості інструменту.

Термостійкість є важливою вимогою, що пред'являється до покриттів на інструментах із ПКНБ. Подібно механічним властивостям, термостійкість покриттів також значною мірою визначається не тільки їх хімічним складом, а й структурою. Зокрема ті ж нанокompозитні системи типу nMeN/ α -фаза характеризуються підвищеною термічною стабільністю. Межа термостабільності покриття nc-TiN/ α -Si₃N₄, нанесеного на кремнієву підкладку, сягає 1100°C , що становить 63% від температури дисоціації Si₃N₄. Таке підвищення граничної температури обумовлено відсутністю реакції окислення на межі поділу стехіометричних фаз TiN і Si₃N₄, незмішуваність яких обумовлена спіноїдальною природою фазової сегрегації в цій системі [3].

Перспективною групою покриттів для інструментів із ПКНБ є самоадаптивні покриття. Основна ідея полягає не в запобіганні окисленню, а в використанні цього явища для управління параметрами контактної взаємодії при різанні і зниження коефіцієнта тертя і, отже, термобаричного навантаження в зоні контакту. Подібні покриття в процесі різання окислюються, утворюючи поліоксидну вторинну структуру (трибоплівку), яка грає роль твердого змащення. З урахуванням того, що тверде мастило повинно характеризуватися низькою міцністю на зсув, в роботі [4] запропоновано використовувати покриття AlN-Ti (Cr) B₂. При точінні інструментом з таким покриттям на його поверхні утворюється поліоксидна трибоплівка, яка включає

Al_2O_3 , Fe_2O_3 і оксінітрид алюмінію $\text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z$. Дані сполуки мають високу термостабільність до 1300°C . Крім того, в таких системах утворюються гомологічні ряди твердих розчинів оксидів, що мають гарну змащувальну здатність. Дослідження елементного складу покриття після обробки різанням показали, що на глибині 70 нм відбувається різке збільшення кількості кисню, тобто зовнішній нанорозмірний шар інтенсивно окислюється, переходячи в продукти зносу і знову окислюючись. При цьому, в шарі розташованому на глибині від 30 до 70 нм, утворюються обмежені тверді розчини на основі Al_2O_3 систем ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlN}$).

Основний напрямок подальших досліджень у цьому напрямку пов'язаний зі створенням систем, що містять SiC і AlN, які хімічно стабільні при температурах понад 1300°C .

Відповідно до концепції [5], ефективним покриттям для інструменту із ПКНБ є нітрид бору в аморфно-кристалічному структурному стані. Ефект досягається за рахунок: – зниження твердості покриття (15 ГПа) в порівнянні з інструментальною основою (34 ГПа), що зменшує внутрішні залишкові напруги і крихкість матеріалу; – зменшення модуля Юнга, що підвищує пружні властивості покриття і стійкість до абразивного стирання; – низького коефіцієнта тертя, що сприяє зменшенню термобаричного навантаження на робочих ділянках інструменту. В [6] доведена перспективність для підвищення стійкості інструменту із ПКНБ застосування в покриттях компонентів, які в процесі контактної взаємодії з оброблюваним матеріалом утворюють сполуки-інгібітори хімічних реакцій, що мають місто в зоні різання.

На основі великої кількості досліджень впливу різних покриттів на закономірності зношування інструментів із ПКНБ, можна виділити кілька взаємопов'язаних підходів для створення різних перспективних систем покриттів: – вибір структурних складових покриття, які в процесі обробки різанням на повітрі забезпечують створення на робочих поверхнях інструменту високотемпературних поліоксидних трібопленок, що грають роль твердого змащення; – введення до складу покриття сполук, що є інгібіторами реакцій хімічної взаємодії, що дозволяє змістити початок активної хімічної взаємодії в зоні обробки в діапазон більш високих температур різання; – зниження коефіцієнта тертя і контактних навантажень на ділянці контакту за рахунок твердого мастилу і припрацювального шару покриття; – забезпечення необхідного структурного стану (аморфно-кристалічні або наноструктуровані) покриття.

Література

1. Towards the understanding of mechanical properties of super- and ultrahard nanocomposites / S. Veprek, A.S. Argon // J. Vac. Sci. Technol. – 2002. – Vol. B20, № 2. – P. 650–664.
2. Синтез упрочняющих наноструктурных покрытий / О.М. Решетняк, В.Є. Стрельницький // Вопросы атомной науки и техники. – 2008. – № 2. – С. 119–130.
3. Veprek S. Concept for the Design of Superhard Nanocomposites with High Thermal Stability: Their Preparation, Properties, and Industrial Applications / S. Veprek, M. G. J. Veprek-Heijman // Ch. Nanostructured Coatings Part of the series Nanostructure Science and Technology. – P. 347–406.
4. Formation of a Tribofilm in the Surface Layer of Al–Ti–Cr–N–B Magnetron Coating on Boron Nitride During Turning of Hardened Steel / I.A. Podchernyaeva, S.A. Klimenko, V.M. Beresnev et al. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 2015. – Vol. 54, № 3-4. – P. 140–150.
5. Особенности применения режущих инструментов из поликристаллического кубического нитрида бора с защитным покрытием / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, А.С. Манохин, В.М. Береснев // Сверхтвердые материалы. – 2017. – № 4. – С. 88–100.
6. Копейкина М.Ю. Повышение износостойкости лезвийного инструмента из ПСТМ на основе КНБ при высокоскоростном точении труднообрабатываемых сплавов: дис...канд. техн. наук. – К. : ИСМ НАН Украины, 2008. – 193 с.

*Молчанов В.Ф. Дніпровський державний
технічний університет, Кам'янське, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН В ДЕФОРМІВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ФІЛЬТРУВАЛЬНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ

У сучасному машинобудуванні для підвищення якості поверхонь деталей машин використовують вдосконалені технології механічної обробки. На фінішних операціях металообробки застосовують мас-тильно-охолоджуючі рідини (МОР), які в процесі експлуатації безперервно і інтенсивно забруднюються твердими частинками металооб-

робки. Забруднені технологічні рідини очищають від механічних домішок. Найбільш ефективними способами очистки технологічних рідин є фільтрація, оскільки при фільтрації через фільтрувальну перегородку можна досягти повного видалення твердих часток з рідини. Проте особливості будови пористого середовища фільтрувальної перегородки обумовлюють ряд специфічних явищ, що виникають при русі рідини в каналах пористого середовища.

Метою дослідження є вивчення закономірності процесу фільтрації технологічних рідин через пористі матеріали. При фільтрації технологічних рідин через шар пористих матеріалів фільтрувальної перегородки пористе середовище деформується із зміною його пористості. Зміна пористості відбувається за рахунок зменшення об'єму пор пористого середовища, оскільки тверді частинки разом з рідиною проникають в пори каналів пористого середовища і зависають в них.

У даній моделі, процес фільтрації шламової суспензії протікає з постійним закупорюванням пор фільтрувальної перегородки. При фільтрації з поступовим закупорюванням пор на фільтрувальну перегородку, об'ємом W_{ϕ} , м³, в якій міститься шар пористого матеріалу пористістю Π , безперервно поступає технологічна рідина з швидкістю, $W_{ж}$, м³ в хвилину, в якій містяться тверді частинки масою, k_0 , кг. Тверді частинки, що потрапляють з рідиною в пори каналів фільтрувальної перегородки, зависають і затримуються в ній, а відфільтрована рідина продовжує рухатися з тією ж швидкістю. Тверді частинки, що зависли в порах каналів фільтрувальної перегородки, змінюють її пористість і впливають на тривалість процесу фільтрації [1].

Для визначення пористості фільтрувальної перегородки необхідно знати кількість твердих частинок, що зависли в порах пористого матеріалу фільтрувальної перегородки. Для цього за незалежне перемінне приймемо час t , а за невідому функцію $y(t)$ – кількість твердих частинок, що зависли в порах каналів фільтрувальної перегородки, через t хвилин після початку процесу фільтрації. Визначимо, наскільки зміниться кількість твердих частинок в фільтрувальній перегородці за проміжок часу t до моменту $(t+\Delta t)$. За одну хвилину на фільтрувальну перегородку поступає $W_{ж}$, м³ забрудненої рідини, а в Δt хвилин – $W_{ж} \cdot \Delta t$, м³ і в цих $W_{ж} \cdot \Delta t$, м³ рідини міститься $k_0 \cdot W_{ж} \Delta t$, кг твердих частинок. З іншого боку, за час Δt через фільтрувальну перегородку протікає $W_{ж} \cdot \Delta t$, м³ рідини.

У момент часу t по всій фільтрувальній перегородці, об'ємом $W_{\phi}, \text{м}^3$ міститься $y(t)$, кг твердих частинок домішок. Отже, в об'ємі $W_{\phi}\Delta t, \text{м}^3$ містилося б $W_{\phi}\Delta t \cdot y(t)$, кг твердих частинок, якби за час Δt кількість твердих частинок в фільтрувальній перегородці, не додавалася. Але оскільки кількість твердих частинок за цей час збільшується на величину, нескінченно малу при, $\Delta t \rightarrow 0$ то і в об'ємі $W_{\text{ж}} \cdot \Delta t, \text{м}^3$ рідини міститиметься, $W_{\text{ж}} \cdot \Delta t[y(t) + a]$ кг твердих частинок домішок, де $a \rightarrow 0$ при $\Delta t \rightarrow 0$. Отже в рідині, що поступає на фільтрувальну перегородку за проміжок часу $(t, t + \Delta t)$, міститься $k_0 \cdot W_{\text{ж}} \cdot \Delta t$, кг твердих частинок, а в об'ємі пористого шару фільтрувальної перегородки, зайнятою рідиною, міститься $W_{\text{ж}} \cdot \Delta t[y(t) + a]$, кг твердих частинок домішок.

Приріст твердих часток за час $[y(t + \Delta t) - y(t)]$ рівняється різниці знайдених величин, тобто $[y(t + \Delta t) - y(t)] = k_0 W_{\text{ж}} \cdot \Delta t - W_{\text{ж}} \cdot \Delta t[y(t) + a]$.

Отримане рівняння розділимо на Δt і перейдемо до межі при $\Delta t \rightarrow 0$. У лівій частині рівняння отримаємо похідну $y'(t)$, а в правій – $k_0 W_{\text{ж}} - W_{\text{ж}} y(t)$, оскільки $a \rightarrow 0$ при $\Delta t \rightarrow 0$. Отже, маємо диференціальне рівняння

$$y'(t) = k_0 W_{\text{ж}} - W_{\text{ж}} y(t) . \quad (1)$$

Для вирішення рівняння (1) приведемо його до виду

$$\frac{dy}{dt} = k_0 W_{\text{ж}} - W_{\text{ж}} y .$$

Проінтегрувавши обидві частини цього рівняння, після відповідних перетворень, отримаємо

$$y(t) = c \cdot e^{-W_{\text{ж}} \cdot t} + k_0 . \quad (2)$$

Визначивши постійну інтегрування $c = -k_0$, і підставляючи значення c в рівняння (2), отримаємо масу твердих частинок домішок, яка затрималася в пористому шарі фільтрувальної перегородки

$$m_T = k_0 (1 - e^{-W_{\text{ж}} \cdot t}) , \text{ кг} \quad (3)$$

Виведена формула (3) дозволяє визначити масу твердих часток, завислих і осілих в порах каналів пористого матеріалу фільтрувальної перегородки.

Припускаючи, що зміна пористості пористого середовища пропорційна приросту маси твердих частинок в пористому шарі фільтрувальної перегородки об'ємом $W_{\phi}, \text{м}^3$, отримаємо

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho_T \cdot W_{\phi}} , \quad (4)$$

де ρ_T – щільність твердих часток, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Висновки. Проведені дослідження дозволили визначити масу твердих частинок домішок та вивести закон зміни пористості пористого середовища.

Література

1. Молчанов В. Ф. Постановка задачи фильтрации в деформируемой среде // Mat. of the 18th Internat. Sci. and Tech. Seminar «Modern questions of production and repair in industry and in transport», February 10–16, 2018, Brno, Czech Republic. – К. : ATM Ukraine, 2018. – С. 178–181.

Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г.

Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

Ильющенко А.Ф. ГПНО порошковой металлургии
НАН Беларуси

Хейфец М.Л., Витязь П.А. НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

Клименко С.А. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «НИКЕЛИД ТИТАНА – ТАНТАЛ – БИОДЕГРАДИРУЕМЫЙ ПОЛИМЕР»

Получен биосовместимый материал с градиентной структурой «никелид титана – тантал – биodeградируемый полимерный слой» для изготовления медицинских имплантационных изделий. Исследованы механические характеристики материала и компонентов. Структуру и состав определяли с помощью СЭМ и Оже-спектроскопии. Формирование поверхностных слоев не оказывает существенного влияния на механические характеристики основы, наблюдается высокая адгезия слоев и основы друг к другу.

Причиной или следствием широкого ряда социально значимых заболеваний, в том числе и онкологических, является сужение или перекрытие протока жизненно важных систем, отвечающих за циркуляцию физиологических потоков – сердечно-сосудистая, выделительная, пищеварительная и дыхательная. В мировой практике широко и успешно освоены эндоскопические операции, осуществляе-

мые без полостного хирургического вмешательства. При их проведении используются медицинские имплантаты для расширения поперечного сечения закупоренного участка до исходного (нормального) диаметра и последующего поддержания стенок протока и для улавливания тромбов при свободном пропускании крови [1–3]. Но для из производства используют классические материалы, сильно уступающие живым тканям по комплексности свойств, тогда как прилагаемые к ним требования очень высоки. Тем временем современная наука предлагает возможности для создания совершенно новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками сразу нескольких традиционных – композитов, сочетающих свойства, ранее видимые несовместимыми [4–10].

Целью данной работы является исследование статических свойств композиционного материала «никелид титана – тантал – биodeградируемый полимерный слой (хитозан)», который должен обладать эффектом памяти формы, сверхэластичностью, соответствием закону запаздывания, коррозионной стойкостью и биологической инертностью, обеспечивая возможность локального терапевтического воздействия за счет контролируемого выделения лекарственных средств в течение заданного времени.

В качестве основы композиционных материалов использовали проволоки никелида титана (55,91 масс.% Ni – 44,03 масс.% Ti) диаметром 280 мкм после последовательной шлифовки поверхности наждачной бумагой зернистостью от 180 до 1000 grit и алмазной пастой (6–1 мкм). 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.

Создание металлических композиционных материалов проводилось путем формирования поверхностных слоев из тантала с помощью магнетрона на постоянном токе ~ 760 мА при напряжении ~ 400 В в газовой среде аргона при рабочем и остаточном давлении $\sim 0,4$ и 4×10^{-4} Па, соответственно, в течение условного времени распыления 30 мин при дистанции напыления 150 мм, что приводило к формированию поверхностного танталового слоя толщиной $\sim 0,9$ мкм и переходного слоя (содержащего Ta, Ti и Ni) $\sim 0,2$ мкм. Температура на поверхности подложек не превышала 150 °С.

Полимерный поверхностный слой на никелиде титана и композите «никелид титана – тантал» формировали на основе 3%-ого раствора хитозана высокомолекулярного и ортофосфорной кислоты.

Металлические образцы после обезжиривания протаскивали через охлажденный раствор полимера, после чего на 5 мин погружали в фиксирующий раствор (гидроксид аммония – этиловый спирт 2:1). Проводили сушку при температуре 37 °С в течение 24 часов, отмывали в фиксирующем растворе для нейтрализации и удаления кислот и снова сушили. Толщина слоя составила менее 5 мкм.

Морфологию и послойный элементный состав (в т.ч. с использованием поперечных шлифов) поверхности материалов исследовали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) TESCAN VEGA II SBU, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy, на котором также проводили фрактографические исследования образцов, и электронном Оже-спектрометре JAMP-9500F фирмы JEOL в сочетании с ионным травлением при бомбардировке аргоном под углом 30°.

Механические свойства исследованных образцов определяли в условиях статического растяжения на механической 10 – тонной испытательной машине INSTRON 3382, со скоростью испытаний не более 2 мм/мин. Система соответствует всем европейским стандартам. На одну экспериментальную точку испытывали 5 образцов. Определяли значения предела текучести ($\sigma_{0,2}$), предела прочности (σ_b) и относительного удлинения (δ). Проводили циклические испытания.

На рис. 1, а показан внешний вид поверхности композиционного материала «никелид титана – тантал – биodeградируемый полимерный слой (хитозан)» – гладкой, равномерной, без видимых дефектов, повторяющей морфологию поверхности исходной проволоки никелида титана, а на рис. 1, б композиционный материал показан после деформирования в области около зоны статического разрыва для отчетливой визуализации трехслойной структуры. Можно сделать вывод, что металлический и полимерный слои близки по толщине.

При анализе изломов проволочных образцов четырех видов после статического разрыва (TiNi, TiNi–хитозан, TiNi–Ta, TiNi–Ta–хитозан) отмечено, что слои обладали очень высокой адгезией к подложке и друг другу, разрушаясь как единый материал и не отслаиваясь за исключением зоны разрушения. Разрушение всех образцов происходило практически одинаково. Поверхность разрушения была ориентирована перпендикулярно оси растяжения, представляя собой совокупность разновеликих пор вязкого излома. В случае композиционных материалов с хитозановым слоем поверхность изломов была частично покрыта чешуйками полимера, ото-

рвавшегося в зоне разрушения проволочного образца при разрыве. Результаты исследования механических свойств показаны в табл. 1.

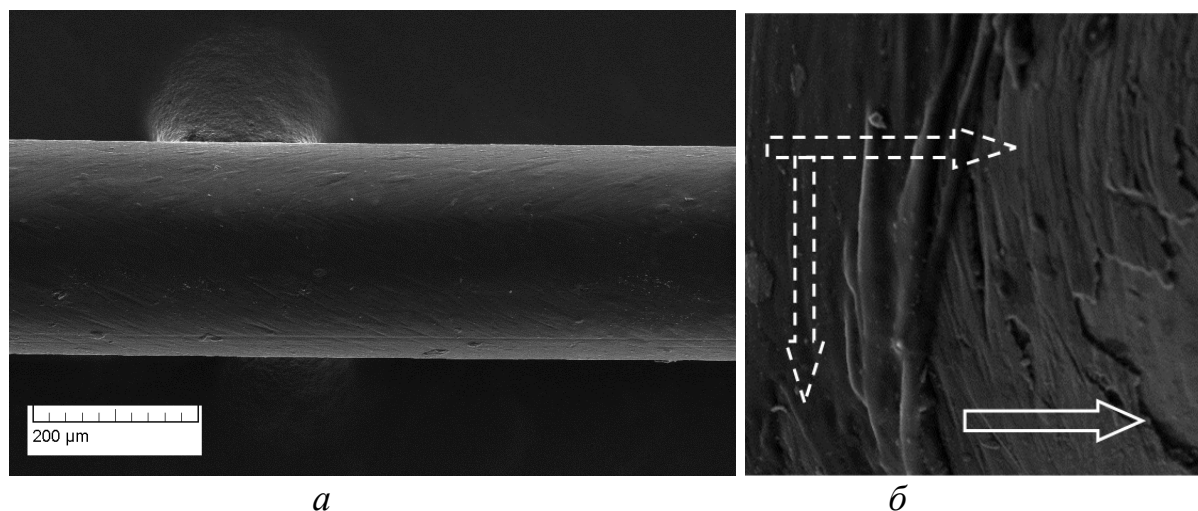


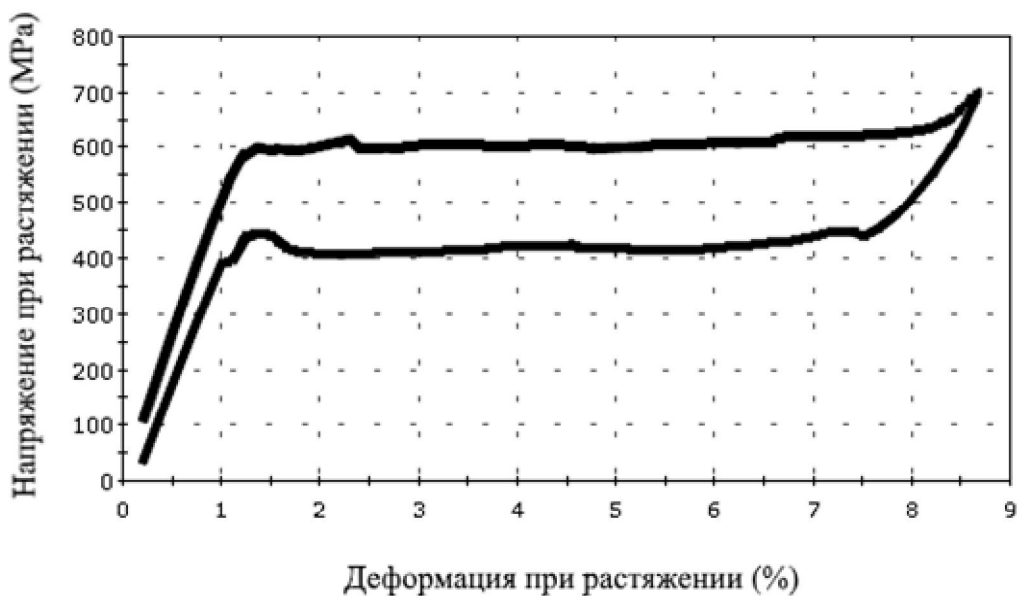
Рис. 1. Общий вид поверхности композита (а) и слоистая структура композиционного материала «никелид титана–тантал–хитозан» (б)

Таблица 1 – Результаты механических испытаний образцов никелида титана и композитов на его основе

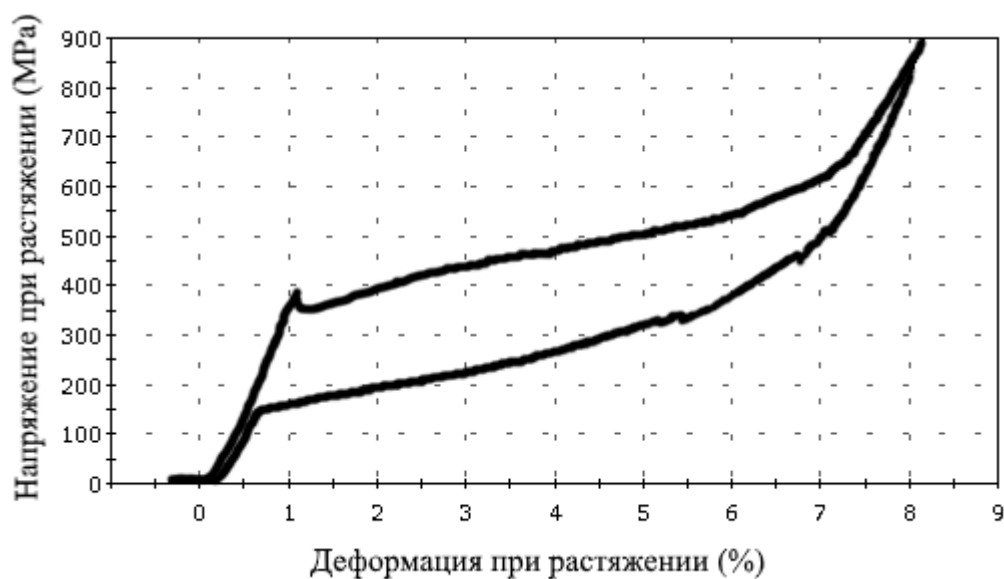
Образец	Относительное удлинение, δ , %	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности, σ_B , МПа
TiNi	7,99	706	1242
TiNi–хитозан	7,91	719,5	1252,75
TiNi–Ta	6,24	520	1475,6
TiNi–Ta–хитозан	6,27	509,7	1489

Поверхностный слой из хитозана практически не влияет на механические свойства проволоки из никелида титана и композиционного материала с танталовым поверхностным слоем. Нанесение поверхностного слоя из Ta на проволоку из никелида титана уменьшает относительное удлинение на 21,9%, предел текучести на 26,3%, но увеличивает предел прочности на 18,8%. По результатам циклических испытаний (рис. 2) можно сделать вывод, что во всех образцах проявляется запаздывание и сверхупругость. Однако при нанесении танталового поверхностного слоя на проволоку TiNi методом магнетронного напыления снижается напряжение течения. Предположительно, это происходит в результате локального нагрева поверхностного слоя и изменения структуры в приповерхностных слоях, в т.ч. увеличения изначальной доли мартенсита, что приво-

дит к переходу при меньших нагрузках. Также может происходить релаксация остаточных напряжений на поверхности образца. Таким образом, этот вопрос требует отдельного детального изучения при формировании чисто металлических композитов.



а



б

Рис. 2. Результаты циклических испытаний образцов из композиционного материала «никелид титана – тантал – хитозан»

Литература

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.О. Гюнтер, В.Н. Ходоренко, Ю.Ф. Ясенчук, Т.Л. Чекалкин. – Томск: Изд-во МИЦ, 2006. – 296 с.

2. Petrini L., Migliavacca F., Biomedical applications of shape memory alloys // J. Metall. – 2011. – P. 1–15.

3. Совершенствование медицинских изделий для эндоваскулярных операций / В.Т. Заболотный, А.Г. Колмаков, М.А. Севостьянов, Е.О. Насакина // Интеграл. – 2013. – № 4 (72). – С. 42–45.

4. Biomimetic deposition of apatite coating on surface-modified NiTi alloy / Y.W. Gu, B.Y. Tay, C.S. Lim, M.S. Yong // Biomaterials . – 2005. – Vol. 26, № 34. – P. 6916–6923.

5. Функциональные покрытия для имплантационных материалов / С.В. Гнеденков, Ю.П. Шаркеев, С.Л. Синебрюхов и др. // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2012. – № 1. – С. 12–19.

6. Бажин П.М., Столин А.М., Титов Н.В. Композиционные защитные покрытия на основе TiC-W₂C-Co, полученные электродуговой наплавкой СВС-электродами на деталях сельскохозяйственной техники // Композиты и наноструктуры. – 2015. – Том 7, № 4. – С. 2–9.

7. Electro-chemically deposited chitosan Ag complex coatings on biomedical NiTi alloy for antibacterial application / P. Li, X. Zhang, R., Xu et al. // Surface & Coatings Technology. – 2013. – Vol. 232. – P. 370–375.

8. Столин А.М., Бажин П.М. Получение изделий многофункционального назначения из композитных и керамических материалов в режиме горения и высокотемпературного деформирования (СВС-экструзия) // Теоретические основы химической технологии. – 2014. – Т.48, № 6. – С. 1–13.

9. Surface modification of NiTi alloy with tantalum to improve its biocompatibility and radiopacity / Y. Cheng, W. Cai, H.T. Li, Y.F. Zheng // J. of Mat. Sci., 2006. – Vol. 41. – P. 4961–4964.

10. Биосовместимость наноструктурного нитинола с поверхностными композиционными слоями из титана или тантала, сформированными методом магнетронного напыления / Е.О Насакина, А.С. Баикин, К.В. Сергиенко и др. // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 461, № 1. – С. 49–52

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4521.2018.8.

ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРА МТЗ-50

Раціональні методи відновлення та зміцнення спрацьованих деталей тракторів – ефективний шлях здешевлення ремонту та підвищення якісних характеристик відновлених виробів. Існує багато різних технологічних методів відновлення спрацьованих деталей, таких, як механічна та слюсарно-механічна обробка, зварювання та наплавлення, напилювання, електролітичне та хімічне нарощування, пластичне деформування, електричні методи, також при ремонті деталей застосовуються полімерні матеріали.

При виборі методу відновлення та зміцнення деталей трактора МТЗ-50 враховано величину спрацювання деталей, матеріал деталей, їх твердість, конфігурацію, розміри (табл. 1).

В результаті дослідження встановлено, що його деталі спрацьовуються нерівномірно, товщина спрацьованого шару на них коливається в межах від 1 до 2 мм. Термін служби деталей – 12 місяців.

Задача відновлення спрацьованих деталей вирішена застосуванням методів газотермічного напилення, зокрема, методу газополуменового напилювання покриттів (ГПМ) для відновлення деталей діаметром до 50 мм та методу електродугової металізації (ЕДМ) для відновлення деталей діаметром більше 50 мм (табл. 2).

Процес газополуменового напилення покриттів, відмінною рисою якого є простота, мобільність та невисока вартість основного та допоміжного обладнання, дає можливість використовувати порошкоподібні матеріали. Для нанесення зносостійких покриттів на деталі трактора застосоване наступне основне технологічне обладнання: маніпулятор обертання деталі мод. КНПА-1,2М із системою витяжної вентиляції, газополуменовий пальник ГАЛ-6, установка для напилення мод. Л5405А, балони кисневий, пропановий, ацетиленовий з редукторами, газові рукави.

Для нанесення покриттів методом електродугової металізації застосовано електродугові металізатори ЕМ-12 та ЕМ-14, джерело постійного струму мод. ВДГ-302, установку мод. КДМ-2, маніпулятор обертання деталі, систему подачі стиснутого повітря.

Таблиця 1 – Номенклатура спрацьованих деталей трактора МТЗ-50

Назва деталі (шифр креслення деталі по каталогу)	Маса деталі, кг	Габаритні розміри, мм		Матеріал деталі	Товщина спрацьованого шару деталі, мм
		довжина	Ø		
Вал вилок ввімкнення (160.12.15)	1,35	400	25	Сталь 45	1,0–1,5
Вал первинний (1701032-А)	3,85	283	60		
Вал ведучий привода (50.1601026)	2,17	205	50		1,0–1,2
Вал проміжний (1701182)	3,6	368	50		
Вал вторинний (1701256)	7,96	250	200		
Вісь кочення (2301058- А)	1,05	120	50		1,0
Хрестовина диферен- ціалу (2403062)	1,57	198	25		1,5
Піввісь (2407082)	36,5	970	85	Чавун	1,0–2,0
Фланець (2308040)	5,32	330	100		1,5
Фланець диска (2308070)	7,82	175	205		
Гільза шкворня (230.8084-А1)	4,35	230	120	Сталь 40	1,0

Таблиця 2 – Матеріал покриття та метод його нанесення

Назва деталі	Метод нанесен- ня покриття	Марка матеріалу покриття	Твердість по- криття, HRC
Вал вилок ввімкнення	ГПН	Порошок ПГ-12Н-02	47–52
Вал ведучий приводу			
Вал проміжний			
Вісь кочення		Порошок ПГ-10Н-01	55–62
Хрестовина диференціалу			
Вал первинний	ЕДМ	Дріт Нп-40Х13	44
Вал вторинний			
Фланець			
Фланець диска			
Гільза шворня			
Піввісь			

Газотермічні методи напилення покриттів дають можливість підвищити зносо-, жаро- та корозієстійкість і тим самим збільшити термін служби деталей трактора, зменшити витрати запасних частин, матеріалів, паливно-енергетичних і трудових ресурсів, витрати на ремонт і технічне обслуговування. Ресурс роботи відновлених і зміцнених деталей збільшується при цьому у 1,5–2,0 рази.

*Олійник Н.О., Базалій Г.А., Ільницька Г.Д.,
Марініч М.А. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

МОДИФІКОВАНІ НАНОПОРОШКИ АЛМАЗУ ДЛЯ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Нанопорошки алмазу детонаційного синтезу застосовують в якості добавок в композиційні покриття абразиву або у складі шихти металеві матриці бурового інструменту. Застосування алмазного абразиву з покриттям дає змогу підвищити зносостійкість та корозійну стійкість інструменту. Введення нанопорошку (1–2 мас.%) до складу шихти за рахунок хімічних перетворень та зміни структури матриці сприяє підвищенню зносостійкості бурових коронок типу БС від 9% до 19%.

Для введення нанопорошків до складу покриття у вигляді суспензії, та до складу шихти у сухому вигляді порошок повинен бути тонкодисперсним, однорідним за розмірами та мати певний гідрофобно-гідрофільний баланс.

Модифікування порошку змінює хімічний та енергетичний стан поверхні, який впливає на фізико-хімічні характеристики порошків. Газофазний метод модифікування призводить до утворення поліфункціонального складу поверхні, який може бути знижено за високо-температурної взаємодії з H_2 , O_2 , Cl_2 , CCl_4 , NH_3 майже до монофункціонального складу. Рідиннофазний метод модифікування поверхні нанопорошків марок АСУД80-АСУД90 впливає на показники вільної енергії насичення паром води та адсорбційну спроможність до важких металів.

З метою покращення фізико-хімічних показників нанопорошків алмазу детонаційного синтезу, що застосовують для виготовлення аб-

разивного інструменту, в роботі досліджували вплив модифікування порошку електрохімічною обробкою на розподіл, однорідність за розмірами, фізико-хімічні характеристики нанопорошку алмазу марки АСУД 99. Катодно-анодну електрохімічну обробку виконували у комірці з платиновими сітчастими електродами та мембраною, в електроліті (0,1н розчину сірчаної кислоти). Струм поляризації складав 0,5 А, кількість циклів – 25–30 з кінцевою катодною поляризацією при струмі 0,5 А впродовж 30 хв. Результати дослідження характеристик вихідного та модифікованого нанопорошку алмазу марки АСУД99 наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні характеристики вихідного та після модифікування нанопорошку алмазу АСУД99

Показники	Порошок марки АСУД99			
	Вихідний порошок		Модифікований порошок	
Розподіл порошку за розмірами.	<i>n</i>	<i>b</i>	<i>n</i>	<i>b</i>
Коефіцієнти рівняння Розіна-Раммлера	1,68	0,02391	2,00	0,05099
Середній діаметр частинок, мкм	5,82		5,46	
Електрокінетичний потенціал, мВ	+11,9		+6,1	
Питомий електроопір, Ом·м	6,0x10 ⁶		6,0x10 ⁸	
Вміст домішок, мас. %	0,93		0,45	
Питома магнітна сприйнятливість, м ³ /кг	0,3 x10 ⁻⁸		-0,9 x10 ⁻⁸	
Питома площа поверхні, S _{БЭТ} , м ² /г	177,7		187,5	
Адсорбційна активність до іонів важких металів (ступінь заповнення поверхні іонами Ni // Pb // Cd), %	70//52//34		85//65//53	
Критерій оцінки ступеня хімічної неоднорідності поверхні, у.о.	16		6	
Вільна енергія насичення поверхні парами води, мДж/г·моль	1100		900	
Інтенсивність піку десорбції води з поверхні при температурі 100 ⁰ С, у.о	400		100	

За результатами, наведеними у табл. 1 випливає, що після модифікування поверхні порошку підвищилась його однорідність за розмірами на 19 %, середній розмір частинок порошку зменшився на 6%, відбулося очищення поверхні, що підтверджується зниженням

вмісту домішок, питомої магнітної сприйнятливості і підвищенням питомого електроопору. Відбулося зменшення вільної енергії насичення поверхні парами води на 18% та інтенсивності піку десорбції води на 75%, відбулося підвищення адсорбційної активності поверхні до іонів важких металів на 21–55%.

Т.ч., електрохімічне модифікування нанопорошку в певних режимах і часі призводить покращення фізико-хімічних характеристик алмазу марки АСУД99 за рахунок очищення поверхні порошку, її гідрофобізації та підвищенню адсорбційної активності до металів.

*Орлов Л.Н, Голякевич А.А., Упырь В.Н.,
Новицкий В.Н. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев, Украина*

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ПРОИЗВОДСТВА ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНОСЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Восстановление и упрочнение наплавкой – один из наиболее эффективных и экономичных способов противостояния износу рабочей поверхности деталей машин и механизмов.

Наплавка применяется для:

- ремонта изношенных деталей и элементов конструкций;
- придания особенных свойств поверхностям новых изделий перед вводом их в эксплуатацию.

Опыт последних лет показывает, что при восстановлении и упрочнении деталей машин широко применяется автоматическая и полуавтоматическая наплавка порошковыми проволоками. Производительность процесса наплавки порошковыми проволоками в сравнении с наплавкой покрытыми электродами увеличивается в 3–5 раз.

Выбор типа и диаметра наплавочной порошковой проволоки определяется видом износа и размерами изделия (табл. 1).

Одним из наиболее распространенных видов износа является абразивный износ. Хотя на практике часто оказывается так, что реальный износ – результат комбинированного воздействия нескольких видов износов. В связи с этим в зависимости от условий работы машин и механизмов абразивный износ условно можно разделить на чисто абразивный, ударно-абразивный, гидроабразивный износ, абразивный износ при повышенном давлении или при высоких температурах.

**Таблица 1 – Характеристики порошковых проволок марки
ВЕЛТЕК для износостойкой наплавки**

Марка проволоки	Ø _{min} , мм	Твердость после наплавки, HRC	Классификация по ДСТУ EN 14700	Механизм износа
Абразивный износ				
ВЕЛТЕК- H560	1,2	52–58	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивное воздействие минералов
ВЕЛТЕК- H560.01	1,8	50–56	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Трение пары металл–металл
ВЕЛТЕК- H566-G	1,2	53–58	ДСТУ EN 14700: TZFe3	
ВЕЛТЕК- H575	2,6	58–67	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивный износ, эрозия
ВЕЛТЕК- H625	2,0	54–59	ДСТУ EN 14700: TZFe6	Абразивный износ под давлением
ВЕЛТЕК- H635.01	1,6	52–58	ДСТУ EN 14700: TZFe14	
ВЕЛТЕК- H634	1,2	61–63	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивный износ под давлением, абразивное воздействие минералов
Ударно-абразивный износ				
ВЕЛТЕК- H560.02	1,6	52–58	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивный износ под давлением, при высоких температурах
ВЕЛТЕК- H565	1,2	54–62	ДСТУ EN 14700: TZFe4	Абразивное воздействие минералов, износ под давлением
ВЕЛТЕК- H570	1,6	55–60	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивный износ, износ под давлением
ВЕЛТЕК- H576	2,0	50–58	ДСТУ EN 14700: TZFe13	
ВЕЛТЕК- H633	1,6	58–60	ДСТУ EN 14700: TZFe13	
ВЕЛТЕК- H620	1,6	58–64	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивное воздействие минералов, эрозия
Гидроабразивный износ				
ВЕЛТЕК- H580	1,6	56–60	ДСТУ EN 14700: TZFe6	Эрозия, кавитация
ВЕЛТЕК- H600	2,0	58–64	ДСТУ EN 14700: TZFe13	
ВЕЛТЕК- H633	1,6	58–60	ДСТУ EN 14700: TZFe13	Абразивный износ, эрозия
ВЕЛТЕК- H635	3,0	52–58	ДСТУ EN 14700: TZFe6	Эрозия, коррозия, абра- зивное воздействие мине- ралов

Для эффективного решения, проблем возникающих при различных видах износа, при разработке и выборе наплавочного материала (табл. 2) необходимо учитывать:

- химический состав основного металла;
- условия эксплуатации детали, факторы износа;
- необходимое качество обработки наплавленной поверхности;
- требуемая толщина наплавленного слоя (количество слоев);
- основные производственные цели (стойкость–надежность–срок службы–экономичность);
- размер и форма наплавляемого изделия;
- условия производства (цех или полевые условия);
- возможности имеющегося наплавочного оборудования.

Таблица 2 – Сферы применения порошковых проволок марки ВЕЛТЕК для износостойкой наплавки

Марка проволоки	Применение
1	2
ВЕЛТЕК-Н560	Наплавка почвообрабатывающих инструментов, валков производства асболистов, матрицы и пуансоны холодной штамповки
ВЕЛТЕК-Н560.01	Наплавка ножей холодной резки
ВЕЛТЕК-Н560.02	Проволока пригодна для бронирования деталей из сталей, стального литья, в том числе и аустенитных сталей, рабочие поверхности которых подвергаются одновременно истиранию, ударным и сжимающим нагрузкам. Объекты применения: режущая часть ковшей и зубья экскаватора, шнеки дробилок, конуса дробилок, губки и молоты дробильных установок, била угольных мельниц, а также ножи холодной резки металла
ВЕЛТЕК-Н565	Валки мельниц минералов и каменных дробилок, скреперы, конуса мельниц. Может применяться для деталей, эксплуатирующихся при повышенных температурах до 550–650 °С
ВЕЛТЕК-Н566-G	Наплавка ножей горячей резки
ВЕЛТЕК-Н570	Наплавка упрочняющих слоев применительно к интенсивному абразивному износу при незначительной ударной нагрузке
ВЕЛТЕК-Н575	Наплавка ковшей экскаваторов, козырьков драг, перфолистов обогатительного и сортировочного оборудования, рабочих колес и улиток землесосов на песчаном грунте

1	2
ВЕЛТЕК-Н576	Наплавка зубьев, козырьков и зубьев ковшей экскаваторов, ножей грейдеров и бульдозеров, грунтозацепов, звеньев и звездочек ходовой части гусеничных машин
ВЕЛТЕК-Н580	Детали пульпонасосов, углесосов, земснарядов, крышки корпусов насосов
ВЕЛТЕК-Н600	Наплавка деталей землесосов, пульпонасосов и углесосов, ковшей землечерпалок и драг, деталей земснарядов, пульпопроводов, матриц брикетировочных прессов
ВЕЛТЕК-Н620	Наплавка лопастей дымососов, рабочие органы строительных и дорожных машин: зубья роторных экскаваторов, козырьки черпаков, режущая кромка ковшей экскаваторов, зубья и ковши одноковшовых экскаваторов, ножи автогрейдеров, ножи скреперов, лопасти грунтосмесительных машин, контактная поверхность малого конуса доменной печи
ВЕЛТЕК-Н625	Наплавка почвообрабатывающих инструментов, матриц брикетировочных прессов переработки торфа, миксеры, шнеки. Наплавка бил шахтных мельниц и дробилок, била молотковых дробилок, зубья сегмента угледробилок, кулачки звездочек агломерационных дробилок рабочих органов почвообрабатывающих машин, ковши землечерпалок, трубные колена на асбестовой фабрике, валки производства асболистов
ВЕЛТЕК-Н633	Наплавка землеройной и обоганительной техники, рабочих колес и улиток землесосов
ВЕЛТЕК-Н634	Рабочие элементы сельскохозяйственных машин
ВЕЛТЕК-Н635	Внутренняя наплавка пульпопроводов, пульпонасосов, крышек мельниц и др. Рекомендуется для наплавки подающих шнеков, зубьев ковшей экскаваторов, кромок скребков экскаваторов и грейдеров, кузовов самосвалов
ВЕЛТЕК-Н635.01	Рекомендуется для наплавки нагнетающих и подающих шнеков, пластин прессов кирпичных заводов, конусов доменных печей, бил мельниц угля и др.

Порошковые проволоки для электродуговой наплавки, разработанные и выпускаемые ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», способны решить задачи, связанные с восстановлением и упрочнением деталей машин, приданием наплавленному металлу специфических характеристик, позволяющих обеспечить высокую стойкость при различных видах абразивного износа.

SELECTIVE PLATING PROCESS FOR RENOVATION BIG MACHINE PARTS

A variety of research and development activities have been carried out at the Tallinn University of Applied Sciences in Coating Technologies Laboratory. A relatively important part is the restoration or strengthening of the nominal dimensions of worn parts of machines. Depending on the thickness of the layer to be restored the hardness of the required surface material is chosen using a suitable coating technology. Electrochemical coating (galvanic) is the technology that is suitable for the application of thin finishes. The most commonly used is the bath plating, where the deferent machine parts are poured into the respective bath. A local galvanic device operating is similar principles and less well-known and used if only the necessary area of the part or defective place is damaged. Often, situations are also needed when it is necessary to combine different technologies, for example, spraying and the subsequent galvanic pin. In this paper, are looked at the use of these capabilities to restore large-scale details.

Spray coatings are not suitable because of the fact that the thickness of the surface is too big (minimum 0,5 mm) and therefore the cost of the material is high and additional machining is necessary to obtain a thin film (thickness of some micrometres, up to 0,5 mm).

The selective plating as a local galvanic is largely similar to the bath plating, since both methods are electrolytic process, during which the workpiece is applied to the metal layer. The main difference lies in anodes and electrolytes. The anode of the local galvanic is made of electro technical graphite, which has been thoroughly treated and purified before contamination of the coating process. The use of graphite is due to its high heat resistance, as the surface finish and the anode are located in the immediate vicinity of the surface. Using a metal anode in a local exhaust process would cause excessive heating of the surface, resulting in deterioration of the bond strength between the surface and the substrate and the mechanical properties. The concentration of electrolytes used in local galvanic are higher than electrolytes used in the bath electroplating. The high metal concentration in the electrolytes makes the local galvanic process a fast surface coating technology.

The direct current power sources used in the bathtub can be applied also for the local galvanic. There is no difference in the principle of operation, but there are smaller sources of power used in the local galvanic power supply, so that carrying is comfortable as possible and the process can be performed directly upon renovation of a part of a device without dismantling it. Technologically the local galvanic does not compete with the galvanic bath plating, but allows to correct defects from the bath coated parts or to cover parts that cannot be covered in the bath. The principle of localized galvanic coating is shown in Figure 1.

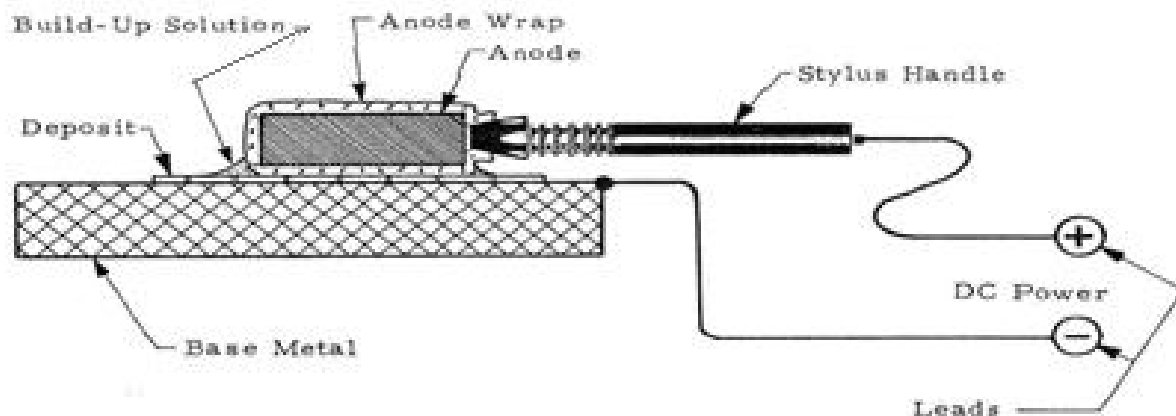


Fig. 1. Schematic of electrochemical metallizing system

Brief descriptions of details requiring recovery

Parts suitable for the field of galvanic coating, where the nominal dimensions have not changed significantly, but there are many abrasive scratches or individual surface damage and the nominal dimensions are also reduced. In most cases, such defects are typical of the piston rods of the hydraulic cylinders, which cause leakage of the oil or loss of hermeticity and the original parts are very expensive. On the Figure 3 can be seen the damage to the chrome plated surface of the large-scale part and the gas dynamic spray has been used to fill the surface defects.

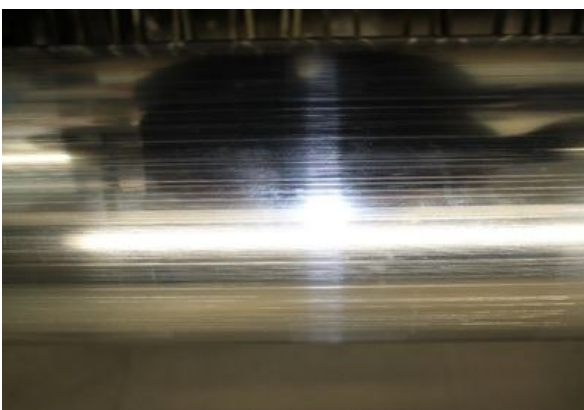


Fig. 2. Piston rod of hydraulic cylinder with deep scratches



Fig. 3. Local renovation of surface defects of large-sized parts gas dynamic spray

The coating technology

The technological process of worn and recovered parts may also be slightly different from the product batch, and the parts requiring recovery need not be equal, and the thickness of the surfaces is not the same.

Figure 4 shows the shaft of a hydraulic cylinder piston that needs to be restored and placed in a rotary drive. The total length of the detail was 1100 mm and the diameter was 120 mm. Parts requiring recovery were 2 pcs and the work was ordered by Trelleborg Industrial Products Estonia.



Fig. 4. A detail requiring renovation in a rotary drive

Due to the nature of the damage to the worn parts, it is necessary to mechanically clean the surfaces to be repaired and prepare them for coating. First of all, the surface is prepared in advance then thoroughly cleaned up of the component, followed by coating process and water rinse. Unlike the bath plating are used different electrolytes for cleaning, activating and coating the surface in the case of local galvanic surfaces.

The site galvanic coating steps are as follows:

For the surface galvanic coating of steel products, the area requiring coating is calculated (cm^2). The entire technological process consists of the following steps:

1. Electric cleaning with a special electrolyte and an upstream current
2. Rinse water
3. Using a special activator, the surface under coating have to be activated to allow to achieve better adhesion strength
4. Rinse water
5. Creating the desired surface

Uncoated surfaces must be carefully insulated so that electrolytes used for coating do not damage them. In most cases, plastic sheeting with good adhesion is appropriate.

Anodes for electro-technical graphite are used to obtain the local galvanic coatings, the area of which should be at least $1/3$, up to $1/2$ of the area requiring restoration and in the case of rotary elements the corresponding radius. If necessary, the anodes must also be provided with

ducts to pump the electrolyte and to steer it evenly over the entire surface to be covered. On the local surface computations are used to estimate the cost and time of materials and energy. For electrolytes all given operating coefficients are expressed in amperes (Ah), which indicates how large a surface can be covered with a thickness of 1 μm . All required thicknesses of the surface material are therefore given in the calculations in micrometres.

- Electrochemical cleaning, (SCM 4100, voltage 10–20 V)
- Rinse water
- Surface activation (SCM 4250, voltage 8–15 V, anti-clockwise)
- Water rinse
- Electrochemical cleaning of activated surface, (SCM4350, voltage 10–15 V, anti-polar)
- Water rinse
- Final surface activation, (SCM 4200, voltage 12–20 V)
- Coating of the substrate (2–3 μm in steel, 7 μm in aluminium alloys, SPS 5640)
- Finishing the base layer to the required thickness, nickel-based hardness SPS 5644.

The required flow of the main layer in amperes is calculated from the formula below:

$$Ah = F \times A \times T, \quad (1)$$

where, Ah – Ampere hours, A – Coverable area (cm^2), T – required surface thickness (μm), F is the utilizing factor for electrolyte.

Based on the formula above it is also possible to calculate the time required for coating.

Figure 5 shows the copper base used to fill the bumps of the worn surface and a base layer based on nickel.

Figure 6 shows the semi-processed copper alloy, which adds hardness to the final surface and processes the required size.

Once all the coating operations have been completed, the treated parts must be cleaned, the tape removed and masked. Figure 7 shows large-size parts for Tarmetec OY, which has been repaired with damaged or defective chromed surfaces.

Figure 8 shows renovated and for transport packed cylinders for Trelleborg IP Estonia.



Fig. 5. Copper-based surface finish for concreting

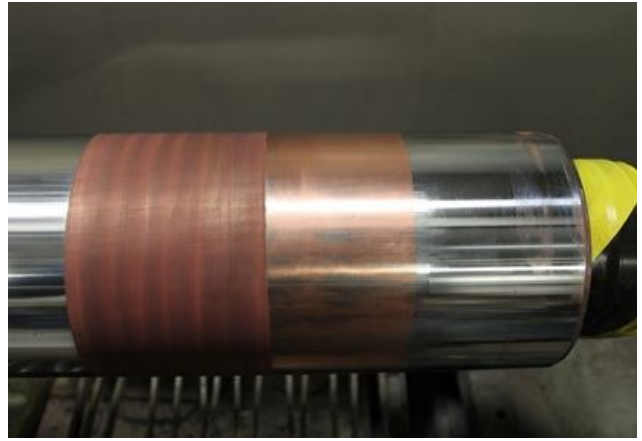


Fig. 6. Semi-treated shaft with copper



Fig. 7. Correction of local defects in stepped details



Fig. 8. Renovated and packaged details

Conclusions

The moving machine parts are easily worn and sometimes it may be useful to renovate them. Especially if the price of a new part is very high and if the worn area or machine part defect is quite small.

In this paper, we describe the technology for different large machine parts: the pistons for hydraulic cylinders and the large pistons where worn seals from companies Trelleborg Estonia AS and Tarmetec IP

In principle, selective plating were used as an electrolytic process, and sometimes it was combined with cold spraying. The benefit of this technology is low temperature and no deformations.

Further studies can be done in the field of electrolytes to get their exact formulations, which allows determining the impact of different

chemicals on the results of coating. In addition, the thickness of the coating should be investigated due to internal tensions in other words; it is advisable to continue the research to find out how a thick layer at a time can be plating to prevent excessive internal stress.

Referreds

1. Rubinstein M. Electrochemical metallizing. – New York, Van Nostrand Reinhold CO, 1986.
2. Pihl T., Pihl R. The Technology of Hard Electrochemical Coatings, Proc. 8th International Symposium, «Powder Metallurgy: Surface Engineering, New Powder Comp. Mat., Welding», April , 10–12th, 2013, Minsk. – Mn., 2013. – Vol II. – P. 196–202.
3. SIFCO Process Instruction Manual, 330. – 1999.

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

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ С ДОБАВКАМИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПОКРЫТИЙ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА АС20 НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Одним из путей повышения износостойкости алмазно-абразивного инструмента и увеличения алмазоудержания является металлизация алмазов различными покрытиями. Особенно это актуально для алмазов повышенной прочности (АС15–АС32), поэтому целью данной работы было исследование металлизированных композиционных покрытий с добавками нанопорошков углеродных трубок (УНТ) на порошках алмаза марки АС20 зернистостью 100/80 и их влияние на их эксплуатационные показатели в кругах. Металлизированные методом химического восстановления Ni (25 масс.%) порошки алмаза были покрыты методом обкатки в присутствии специального связующего тонкодисперсным порошком Al марки АСД крупностью –40 мкм. Добавки порошков углеродных трубок не

превышали 2 масс.%. Высушенные образцы спекали в печи в воздушной среде при температуре 850 °С. Степень металлизации алмазов с композиционным покрытием составляла 70–75 масс.%. Физико-химические характеристики исследовали с помощью масс-спектрометра МИ 1201 в температурном интервале 20–1000 °С в воздушной среде.

Электронно-микроскопическое изображение (электронный микроскоп ZEISS ULTRASS) алмазов марки AC20 100/80, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al без добавок (а) и с добавками УНТ (б), показаны на рис. 1.

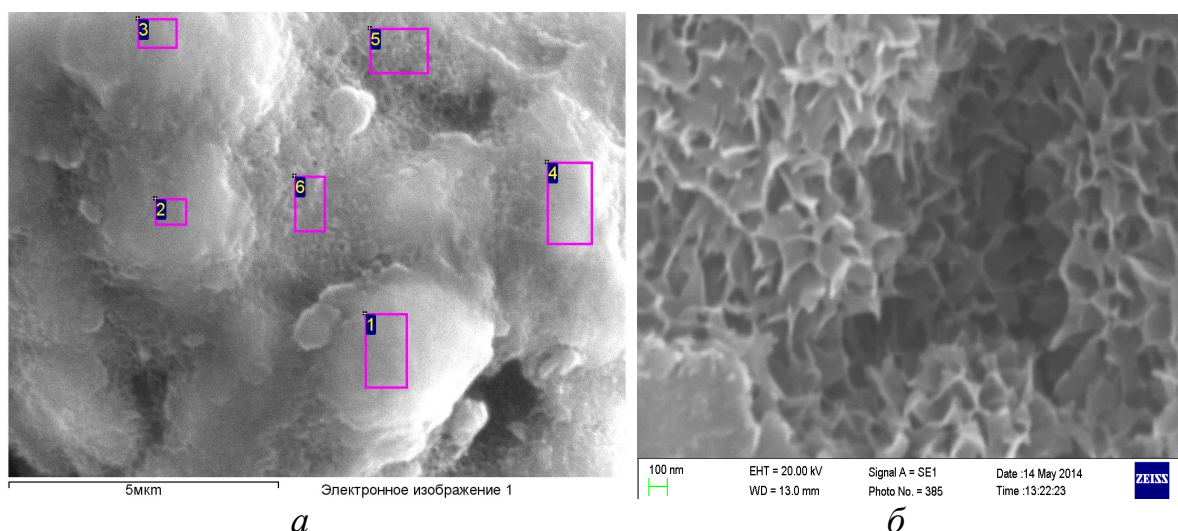


Рис. 1. Алмазы AC20 100/80, металлизированные композиционным покрытием Ni-Al без добавок (а) и с добавками УНТ (б)

Как следует из рисунка, на зернах алмаза, металлизированных композиционным покрытием Ni-Al без добавок и с добавками УНТ, сформирована плотная структура, причем при добавлении УНТ в структуру покрытия просматривается скелетная структура углеродных нанотрубок.

Для получения информации о состоянии поверхности шлифпорошков марки AC20 зернистостью 100/80, исходных и металлизированных композиционным покрытием Ni-Al с добавками и без добавок УНТ, снимали термодесорбционные спектры. Присутствие воды в порошках алмаза тесно связано с их удельной площадью поверхности. Из полученных данных следует, что наименьшее содержание воды в образце и наименьшую удельную площадь поверхности содержат порошков алмаза без покрытия. Создание на поверхности алмазов композиционного покрытия Ni-Al добавки УНТ спо-

способствует образованию более развитой поверхности, о чем свидетельствует наибольшее содержание воды.

Порошки алмаза марки АС20 зернистости 100/80 – металлизированные Ni и Ni-Al, и аналогичные с добавками УНТ были использованы для изготовления экспериментальных шлифовальных кругов 12А2-45° 125×5×3×32 со 100%-й концентрацией алмазов на полимерной связке В2-08. Испытания проводились на станке 3В642 при шлифовании образцов из твердого сплава ВК6 размерами 7×15×60 мм при производительности шлифования 200 и 400 мм³/мин. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний

Покрытие алмазов	Производительность обработки, мм ³ /мин			
	200	400	200	400
	Расход алмазов, мг/г		Шероховатость, <i>Ra</i> , мкм	
Ni	29,2	47,6	0,42	0,66
Ni+УНТ	10,0	30,9	0,41	0,45
Ni-Al	23,4	57,5	0,45	0,59
Ni-Al+УНТ	7,5	21,1	0,53	0,89

Как следует из таблицы, расход алмазов металлизированных Ni и Ni-Al с добавками УНТ в шлифовальных кругах при шлифовании твердого сплава существенно ниже по сравнению с кругами с исходными алмазными порошками с покрытием без УНТ. При этом, данный эффект повышения износостойкости кругов более ощутим на меньших производительностях обработки, а с повышением производительности он несколько снижается, но остается достаточно ощутимым. Так, даже для 400 мм³/мин повышение износостойкости кругов составляет 1,5–2,7 раза. Наилучшим является покрытие Ni-Al+УНТ. По шероховатости обработанной поверхности наоборот данное покрытие является наихудшим, так шероховатость ощутимо выше. Тут более приемлемым является покрытие зерен АС20 – Ni+УНТ. В зависимости от требований к обработке это следует учитывать при выборе покрытия.

ІНЖЕНЕРІЯ ПОКРИТТЯ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН МЕТАЛІЗОВАНИХ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ

Металізація є одним із дієвих методів модифікації поверхні зерен порошків синтетичного алмазу (СА) [1]. Головна мета такої технологічної операції спрямована на підвищення ефективності застосування абразивного інструменту, виготовленого із використанням металізованих порошків.

Важливим показником якості металізованих шліфпорошків СА є товщина покриття зерен. Всі відомі на сьогодні методи визначення цієї характеристики металізованих порошків за своєю суттю є опосередкованими, оскільки не дають безпосередньої відповіді щодо товщини покриття. Найголовнішою методичною складовою відомих підходів до опосередкованого оцінювання товщини покриття зерен при металізації є аналітичне визначення об'єму усередненого зерна порошку початкового та після металізації. При цьому зазвичай користуються 3D моделлю зерна у формі кулі і відомими аналітичними залежностями для визначення її об'єму. Крім того, приймається допущення щодо структурної однорідності покриття та ідентичності форми початкових і металізованих зерен.

Серед відомих опосередковано-аналітичних методів визначення товщини покриття зерен металізованих шліфпорошків СА слід виділити метод, заснований на використанні зовнішньої питомої поверхні [2]. Такий підхід є найбільш досконалим, оскільки зовнішня питома поверхня ($F_{\text{зпп}}$) може визначатись як експериментально, так і опосередковано-аналітичними методами. Застосування таких методів дозволяє використовувати більш оригінальні в сенсі наближення до фактичної просторової форми зерна 3D моделі у порівнянні з відомими моделями на зразок кулі чи куба. Для визначення товщини покриття (h) зерен металізованих шліфпорошків СА в [2] пропонується наступна формула

$$h = \frac{\mu}{\rho_{\text{м}} F_{\text{зпп}}} , \quad (1)$$

яка авторами, приймаючи 3D модель зерна у формі кулі, для якої $F_{\text{зпп}} = 6/(d \rho_a)$, зведена до виду

$$h = \frac{\mu d \varphi \rho_a}{6 \rho_M}, \quad (2)$$

де ρ_a , ρ_M – густина алмазу та матеріалу металу покриття відповідно; $\mu = m_M/m_a$ – ступінь металізації; m_M – маса металу, витраченого на покриття алмазного порошку масою m_a ; d – середній розмір зерна алмазу до металізації; φ – емпіричний коефіцієнт, який залежить від геометрії зерна і характеризує відхилення його об'єму від об'єму кулі з діаметром d . Для шліфпорошків СА автори [2] рекомендують приймати його рівним 0,7.

В даній роботі пропонується при визначенні товщини покриття зерен металізованих абразивних порошків використовувати екстраполяційно-афінну 3D модель зерна [3]. При цьому загальна формула залишається у вигляді (1), а зовнішня питома поверхня обчислюється методом, описаним в [4]. В такому варіанті формула (1) не містить коефіцієнта φ , що значно розширює межі практичного її застосування. Крім того, екстраполяційно-афінна 3D модель зерна абразивних порошків успадковує від реального зерна 5 параметрів: максимальний і мінімальний діаметри Фере проекції зерна, його висоту, периметр і площу проекції. Завдяки цьому досягається збільшення точності визначення об'єму і площі поверхні зерна, а відтак і товщини самого покриття.

Проводилась апробація запропонованого методу визначення товщини покриття зерен на металізованому титаном стандартному шліфпорошку AC125 400/315. Саме такий шліфпорошок одночасно з іншими шліфпорошками використовувався при вивченні фізико-хімічних процесів нанесення покриттів на порошки НТМ з метою створення гетерогенних структур металоалмазних композитів [5]. І це дозволило використовувати для апробації цілком реальні технологічні параметри металізації та фізичні властивості абразиву і металу покриття. Зокрема, ступінь металізації (μ) титановим покриттям складала 5%. Густина титану (ρ_M) приймалась рівною $4,5 \text{ г/см}^3$, алмазу (ρ_a) – $3,5 \text{ г/см}^3$. Інші зазначені вище і необхідні початкові дані були отримані діагностуванням проби порошку у кількості 2000 зерен приладом DiaInspect.OSM [6].

Обчислені значення товщини покриття зерен зазначеного металізованого порошку запропонованим методом (екстраполяційно-афінна 3D модель зерна) та методом роботи [2] (формула (2), 3D

модель зерна у формі кулі) склали 1,3 мкм та 3,4 мкм відповідно. Орієнтовне значення товщини покриття зерен для даного випадку металізації складає 1–3 мкм [5]. Як бачимо, значення товщини покриття зерен, вираховане за формулою (2), виходить за межі цього орієнтовного інтервалу можливих її значень. Тому можемо зробити висновок про те, що метод, запропонований в роботі [2], дає завищені значення товщини покриття зерен. Цей висновок підтверджується і більш точним кількісним аналізом із використанням результатів дослідження впливу 3D моделі зерна алмазних шліфпорошків на значення їх зовнішньої питомої поверхні [7]. За результатами цього дослідження зовнішня питома поверхня алмазних шліфпорошків аналогічної з нашим випадком зернистості, визначена на основі 3D моделі зерна у формі кулі, в 2,6 рази менша від її значення, отриманого із використанням екстраполяційно-афінної його моделі. При цьому екстраполяційно-афінна 3D модель зерна лише в 1,03 рази занижує розрахункові значення зовнішньої питомої поверхні в порівнянні із експериментальним її значенням ($9,72 \text{ м}^2/\text{кг}$ та $10,0 \text{ м}^2/\text{кг}$ відповідно), а 3D модель зерна у формі кулі – в 2,7 рази ($3,67 \text{ м}^2/\text{кг}$ та $10,0 \text{ м}^2/\text{кг}$ відповідно). Аналіз математичної структури формули (1) показує, що занижені значення зовнішньої питомої поверхні призводять до пропорціонального збільшення товщини покриття зерен металізованих порошків. Такий висновок повністю узгоджується із отриманими тут числовими даними для розглядуваних 3D моделей зерна.

Таким чином, використання екстраполяційно-афінної 3D моделі зерна дозволяє знаходити товщину покриття зерен металізованих алмазних шліфпорошків без жодних обмежень щодо форми їх зерен та з меншою похибкою.

Література

1. Прудников Е.Л., Дуда Т.М., Зарицкий А.С. Абразивосодержащие электрохимические покрытия. – К. : Наук, думка, 1985. – 216 с.
2. Евразийский патент 014582 В1 Композиционный материал с высокой теплопроводностью и способ его получения / А.М. Абызов. – Заявл. 29.12.2009. Опубл. 30.12.2010.
3. Экстраполяционно-аффинная 3D модель зерна порошков сверхтвердых материалов и ее инженерия // Современные проблемы естественных наук. – 2014. – Т. 1(2). – С. 57–62.

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

5. Дослідження фізико-хімічних процесів нанесення покриттів на порошки НТМ з метою створення гетерогенних структур металоалмазних композитів: звіт за НТР // ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України.– НДР № 0108U000011.– 2010.– 212 с.

6. DiaInspect/DiaInspect. OSM operating manual <http://www.vdiamant.de/English/download.htm>

7. Сафонова М.Н., Петасюк Г.А. Количественный анализ адекватности 3D-моделей зерна порошков природного алмаза // Материаловедение. – 2013.– № 5.– С. 49–56.

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

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Важным фактором развития машиностроения является увеличение номенклатуры тонкостенных деталей сложного профиля из высокопрочного материала, используемых в областях ответственного назначения: оборонной промышленности, горнорудной промышленности, в ракето-, станко-, авиа-, судо-, приборостроении и других. Изготовление такого рода деталей при механической обработке с требуемой точностью вызывает трудности. Это обусловлено значительной упругой деформацией деталей от сил резания, что приводит к неравномерности снимаемого припуска и снижению точности обработки. Проблема усугубляется при формообразовании поверхностей резанием по методу касания, в частности, фрезерованием, когда воздействие сил резания на заготовку носит прерывистый характер.

Анализ литературных источников показывает, что для решения проблемы податливости тонкостенных деталей при обработке обычно используют «мягкие» режимы с пониженными силами резания, при которых деформация деталей находится в диапазоне до-

пустимых значений. Недостатком такого решения является снижение производительности механической обработки.

Альтернативное решение основано на оказании тонкостенной детали дополнительной поддержки путем установки вспомогательных опор в точках наименьшей жесткости [1, 2]. Опоры не позволяют перемещаться тем точкам детали, которые они поддерживают. Тем самым опоры увеличивают жесткость детали, препятствуют ее деформациям и вибрациям при обработке.

Для тонкостенных деталей рационально применение не отдельных опор, а вспомогательного опорного модуля – блока из нескольких опор, каждая из которых контактирует с деталью в разных точках поверхности, создавая в этих точках усилие реакции при оказании силового воздействия по ходу резания (рис. 1, а).

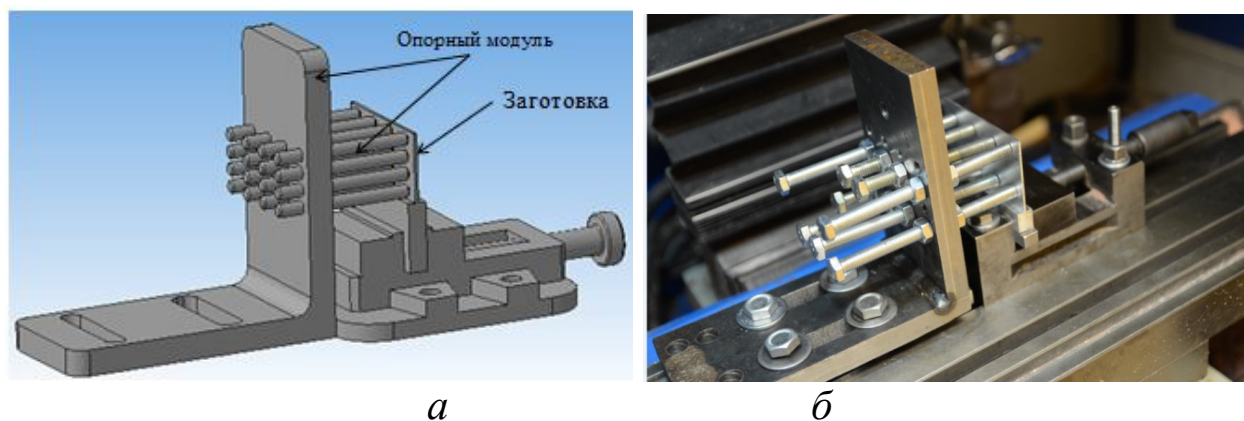
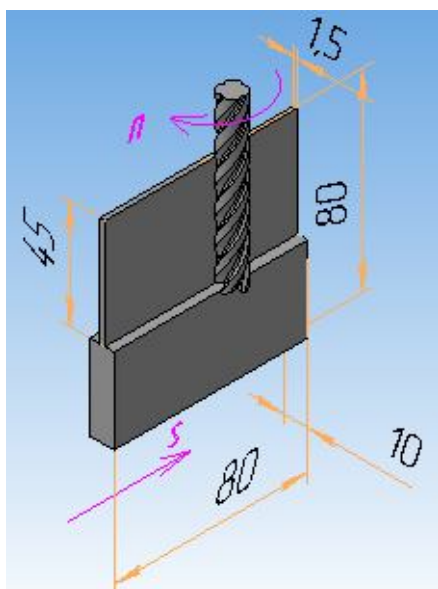


Рис. 1. Установка тонкостенной детали с применением опорного модуля:

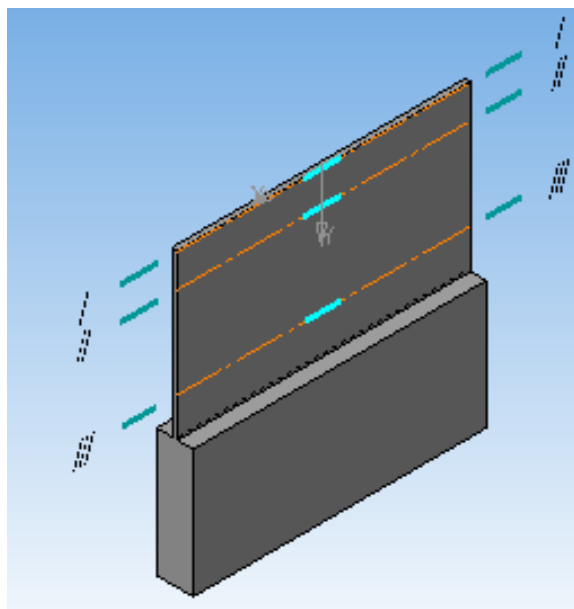
а – схема установки с применением опорного модуля;

б – экспериментальный опорный модуль

В проведенных экспериментах вспомогательный опорный модуль, выполнен в виде сварного уголка с отверстиями под болты М8, которые использовались в качестве вспомогательных регулируемых опор (рис. 1, б). Базирование и закрепление тонкостенных заготовок из алюминиевого сплава Д16Т производилось в тисках. Обработка заготовок проводилась по схеме попутного фрезерования (рис. 2, а) твердосплавной концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке модели ХЗК с системой управления SINUMERIK 802S. В ходе фрезерования происходил съем припуска пошагово на каждом проходе 0,5 мм до достижения конечной толщины 1,5 мм. Измерение обработанной поверхности проводилось в трех сечениях (рис. 2, б) с помощью координатно-измерительной машины *CimCore infinite 2.0*.



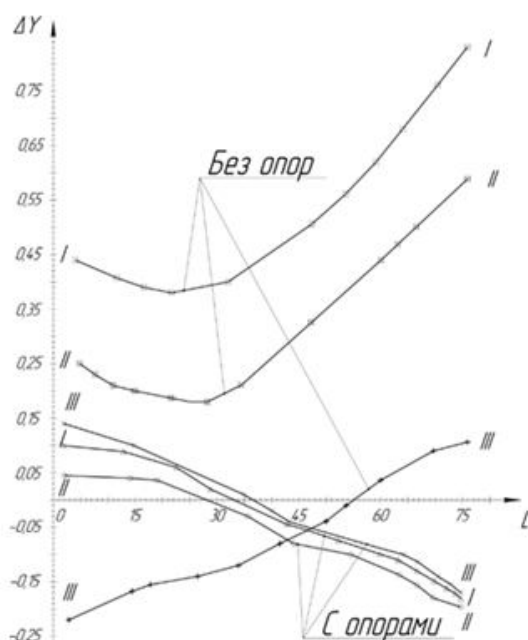
a



б

Рис. 2. Схема фрезерования экспериментальных образцов (а) и сечения, в которых проводились измерения обработанной поверхности (б)

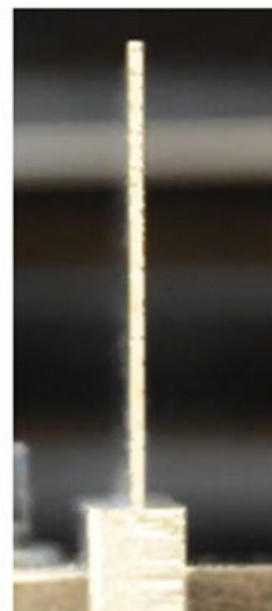
Анализ результатов измерения показал значительное уменьшение отклонения формы и расположения поверхностей деталей, обработанных с применением вспомогательного опорного модуля (рис. 3).



a



б



в

Без опор С опорами

Рисунок 3 – Отклонение формы обработанной детали:

a – по длине поверхности в сечениях I-I, II-II, III-III; *б, в* – в поперечном сечении

Для применения вспомогательных опорных модулей при обработке тонкостенных деталей сложного профиля более рационально использование в модулях, адаптируемых к профилю поверхности самоустанавливающихся опор.

Предложенная конструкция приспособления с модулем из самоустанавливающихся опор (рис. 4) имеет базовый корпус-плиту 1, с сеткой крепежных резьбовых отверстий 2 для фиксации на плите постоянных опор и зажимных элементов (на рис. 4 не показаны). В плите имеются также резьбовые отверстия для установки в них вспомогательных самоустанавливающихся опор. Эти отверстия соединены с выполненными в плите каналами, через которые подается масло

под давлением в глухие отверстия направляющих стержней опор 3. На направляющих стержнях размещаются подпружиненные пружиной 4 втулки 5 с глухими отверстиями.

В соответствии с принятой схемой установки тонкостенной детали на операции через резьбовые отверстия 2 в корпусе-плите 1 монтируют постоянные опоры и зажимные элементы приспособления. Верхние опорные точки самоустанавливающихся опор при этом должны быть выше опорных точек постоянных опор. В ходе базирования детали и сближения ее технологической установочной базы с постоянными опорами каждая из подпружиненных втулок 5 самоустанавливающихся опор перемещается вдоль оси, сжимая пружину 4. После контакта детали с постоянными опорами и ее закрепления самоустанавливающиеся опоры займут свое положение в соответствии с геометрической формой технологической установочной базы заготовки. Их жесткая фиксация в этом положении производится за счет упругой деформации тонкостенной стенки направляющих стержней 3, приво-

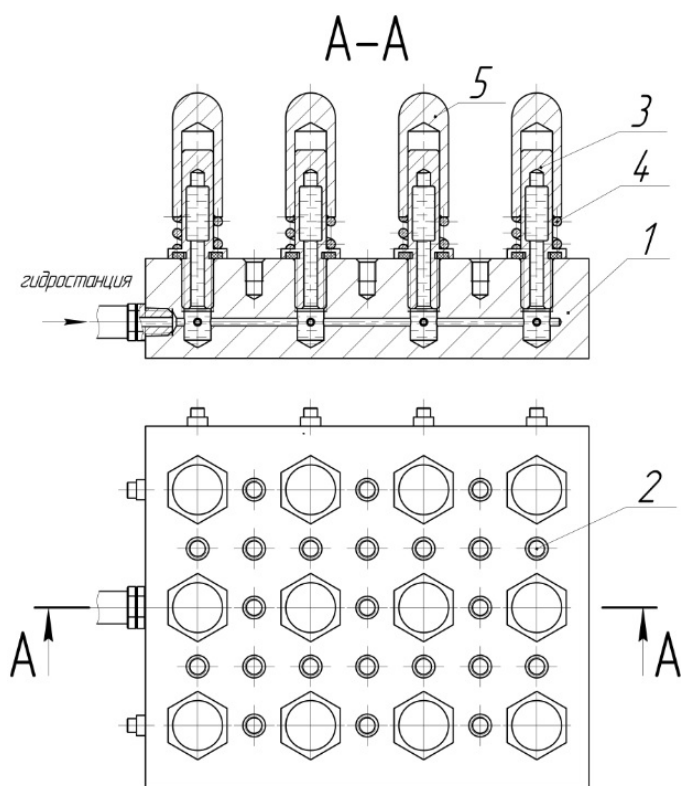


Рис. 4. Приспособление с опорным модулем из самоустанавливающихся опор

дящей к возникновению контактных давлений и сил трения в соединениях стержней с втулками 5. Деформация стержней 3 осуществляется маслом, нагнетаемым под давлением в их замкнутую полость через каналы и резьбовые отверстия в плите 1.

Для определения оптимальной схемы размещения самоустанавливающихся опор в опорном модуле при обработке тонкостенных деталей сложного профиля требуется анализ их напряженно-деформированного состояния под действием сил резания. Решение этой задачи возможно с помощью CAE-систем автоматического инженерного анализа.

Литература

1. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справ. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
2. Робот-станок с параллельной кинематикой // Альфа-интех. Будущее создается настоящим : URL: <http://alphajet.ru/content/robot-standok-s-parallelnoi-kinematikoi>.

Посвятенко Е.К. Національний транспортний університет,
Ляшенко Б.А. Інститут проблем міцності
ім. Г.С. Писаренка НАН України,
Посвятенко Н.І. Національний транспортний
університет, Київ, Україна

МОДИФІКУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ТЕРМІЧНИМИ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ

Для отримання різних властивостей поверхневого шару та серцевини деталі без зміни розмірів останньої існують кілька способів поверхневого зміцнення (модифікування), які умовно можна поділити на наступні групи:

- поверхнева термічна обробка без зміни хімічного складу матеріалу;
- термічне обробка зі зміною хімічного складу поверхневих шарів (хіміко-термічна обробка);
- холодне пластичне деформування, наскрізне або поверхневе;
- механічна обробка (лезовим інструментом та абразивна).

При поверхневому гартуванні у модифікованому шарі утворюється мартенсит, який є основною фазою цього шару. Більш глибокий шар матеріалу (перехідний) є феритно-карбідною сумішшю, яка носить назву бейніт. Механізм його формування поєднує риси дифузійного і бездифузійного перетворень. Внаслідок низької температури розпаду дифузія вуглецю ускладнюється, але повністю не припиняється. Тому бейнітне перетворення називають проміжним.

Гартування струмами високої частоти (СВЧ), інакше, поверхнєве індукційне, полягає в тому, що внаслідок індукції у поверхневому шарі деталі виникають вихрові струми. Це призводить до виділення джоулевої теплоти і нагрівання деталі. Розподіл змінного струму по перерізу деталі нерівномірний. Тому густина струму на поверхневому шарі значно більша, ніж у середині деталі. В результаті у цьому шарі виділяється близько 90% теплоти і лише він нагрівається до температур, вище точки A_{c3} .

Гартування СВЧ застосовується для колінчастих валів (шийки), розподільчих валів (кулачки), гільз циліндрів, шестерень, поршневих і ресорних пальців та інших деталей автомобілів і тракторів. При цьому глибина зміцненого поверхневого шару знаходиться в межах 1–3 мм.

Індукційне поверхнєве гартування забезпечує:

- відсутність короблення деталей, окислення поверхні і вигорання вуглецю та інших елементів;
- утворення дрібнозернистих аустеніту і мартенситу, що сприяє підвищенню міцності (σ_B до 1,3 ГПа) при високих значеннях пластичності (δ до 20%);
- підвищення на 40–50% опору втомному руйнуванню завдяки виникненню у поверхневому шарі залишкових напружень стиску.

Шар товщиною 1,7–2,2 мм має мартенситну структуру (48–52 HRC). Далі розміщується перехідний шар зі структурою бейніту. Сумарна товщина цих шарів сягає 4–5 мм, після цього починається незагартована основа деталі.

Газополуменеве поверхнєве гартування полягає у нагріванні поверхні деталі до температури гартування пальниками. Метод застосовується при гартуванні: залізничних рейок, хрестовин, стрілок, зубчастих коліс, штоків компресорів, роликів і бігових доріжок крупних підшипників кочення, шийок колінчастих валів, зубців фрез, напрямних станин металорізальних верстатів та ін. деталей.

Глибина загартованого шару залежить від взаємної швидкості переміщення пальника і деталі, а також від питомої потужності по-

лум'я, що вимірюється витратами полум'яутворюючого газу на одиницю поверхні деталі. Глибина загартованого шару зменшується зі зменшенням потужності полум'я і зростанням взаємної швидкості переміщення.

Переваги способу полягають у дешевизні, простоті та низькій вартості устаткування, можливості автоматизації і включення у загальний потік механічної обробки.

Гартування з нагріванням лазером за аналогією з іншими видами загартування полягає у формуванні на етапі нагрівання аустенітної структури і подальшого перетворення на етапі охолодження цієї структури у мартенсит. Гартування здійснюється шляхом швидкого короткочасного (10^{-3} – 10^{-7} с) нагрівання поверхні деталі концентрованим потоком енергії лазерного пучка до високих температур і швидкого охолодження. Завдяки цьому відбувається інтенсивне відведення теплоти у глибину металу. Тобто, відбувається самогартування. Швидкість охолодження досягає 10^3 – 10^5 °C/с, що запобігає відпусканню мартенситу при охолодженні і забезпечує отримання високої твердості поверхневого шару. Глибина цього шару може змінюватись в межах від 0,1 до 2 мм.

Лазерну обробку можна використати для поверхневого зміцнення деталей із сталей і чавунів: газорозподільчих, колінчастих та інших валів, гільз циліндрів ДВЗ, виробів з різьбою та металорізальних інструментів, а також складових штампової оснастки.

Поверхнева обробка плазмою. При цьому методі відбуваються фазові і структурні перетворення плазмовим струменем при швидкому концентрованому нагріванні поверхні деталі та відведенні тепла у глибину матеріалу. Як плазмоутворюючі гази використовуються інертні гази – аргон або суміш аргону з гелієм. Це забезпечує отримання поверхневого шару без дефектів внаслідок тільки термічного зміцнення. Мартенситна структура зміцненого шару характеризується високим ступенем дисперсності, високою мікротвердістю і наявністю між основою та поверхневим шаром проміжного шару високодисперсної структури відпускання. При поверхневому плазмовому зміцненні використовують плазмотрони прямої і непрямої дії.

Структура поверхневого шару впливає на підвищення експлуатаційних характеристик цього шару порівняно з початковими: стійкості до зношування, тепло- і корозійностійкості, міцності, тріщиностійкості, витривалості, опору утомленості. Наприклад, колінчас-

ті вали (сталі 45) виявили збільшення зносостійкості у 1,5 рази порівняно з валами, обробленими за традиційною технологією.

Переваги поверхневої обробки плазмою полягають у високій продуктивності процесу, низьких значеннях або повній відсутності короблення, обов'язковій наявності проміжного шару, стабільності фізико-механічних та геометричних характеристик зміцненої поверхні.

Модифікування поверхні електронним променем. Електронний промінь – це потік електронів, що випромінюється електронною гарматою і рухається у певному напрямку. При застосуванні електронного променя для нагрівання поверхні використовується енергія, яка отримується внаслідок бомбардування деталей вузьким пучком електронів. Процес здійснюється у вакуумі або у середовищі інертних газів при атмосферному тиску. Густина потужності електронних пучків складає 10^5 – 10^8 Вт/м².

При електронно-променевому оплавленні у режимі загартування з рідкого стану виділяються 30–75% неметалевих включень, при чому ті, що залишилися, стають меншими за розмірами і більш рівномірно розподіляються. Це поліпшує фізико-механічні властивості поверхневого шару: ударну в'язкість, теплопровідність, контактні характеристики, схильність до тріщиноутворення, стійкість метало-різального та деформуючого інструментів.

Переваги методу: мале та контрольоване проплавлення основного металу; відсутність короблення деталі.

Поверхнєве гартування при нагріванні у електроліті. Суть методу полягає у наступному. У ванну з електролітом занурюють деталь. Електролітом служить розчин вуглекислого натрію, їдкого натру, сірчанокиислового натрію та ін. Джерело постійного струму приєднують до ванни (анод) і деталі (катод). Проходження струму крізь електроліт супроводжується виникненням на деталі водневої оболонки. На внутрішній частині ванни скупчується кисень. Воднева газова оболонка має погану електропровідність, завдяки чому поверхня деталі нагрівається до температур вище точок A_{C1} чи A_{C3} , тобто стає придатною для поверхневого гартування. Після нагрівання струм вимикають і деталь охолоджують тим же електролітом або переносять у гартувальну ванну.

Для поверхневого гартування цим способом придатні клапани ДВЗ, вали, пальці, шестерні і зубчасті колеса, зірочки та ланцюги ланцюгових передач тощо. Матеріали статті ґрунтуються на власних дослідженнях авторів і джерелах [1–3].

Література

1. Методы упрочнения поверхностей машиностроительных деталей: методич. пособ. / Н.В. Новиков, А.А. Бидный, Б.А. Ляшенко и др. – К. : ИСМ, 1989. – 112 с.
2. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн. : Беларуская навука, 1998. – 583 с.
3. Інженерія поверхні: підручник / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К. : Наук. думка, 2007. – 559 с.

Проц Л.А. Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород

Лавриненко В.И. Інститут сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН України, Киев

Молчанов В.Ф., Солод В.Ю. Днепровский государственный технический университет МОН України, Каменское, Украина

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКУ ВІРОГІДНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ НА ФІНІШНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ СПЛАВУ БОРОСИЛКАТНОГО СКЛА З ВКРАПЛЕННЯМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ НАНОКРИСТАЛІВ $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$

Інтерес до одержання нових перспективних матеріалів із заданими фізико-механічними властивостями викликаний як фундаментальними, так і прикладними аспектами. Оптична спектроскопія яка лежить в основі багатьох досліджень дає певний спектр результатів, що необхідні для створення матеріалів при використанні їх в якості активних елементів оптичних і оптоелектронних пристроїв, комірок пам'яті, сонячних елементів, фотокаталізаторів, тощо. Проведення більшості оптичних досліджень вимагає наявності якісних робочих поверхонь квантових приладів. Отже, виготовлення таких поверхонь є актуальною необхідністю. У свою чергу, якісне виконання фінішної операції полірування є невід'ємною складовою технологічних процесів механічної обробки.

Останнім часом, пошук нових перспективних об'єктів із заданими фізико-хімічними властивостями базується на використанні неметалевих матеріалів. У зв'язку з різними механічними властивостями нових матеріалів, здебільшого невідомих, для одержання оп-

тичних поверхонь з високими вимогами до якості технологія механічної обробки потребує постійних суттєвих досліджень.

Серед нових перспективних неметалевих матеріалів, які можуть бути використані в якості базових активних елементів у вищенаведених приладах і пристроях є сплави з боросилікатного скла з вкрапленими нанокристаллами $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ [1–3]. У зв'язку з відсутністю відомостей по виконанню технологічного циклу механічної обробки для виготовлення робочих елементів квантових пристроїв на основі вищенаведеного сплаву проведення представлених досліджень є актуальним та своєчасним.

Собівартість виготовлення оптичних поверхонь суттєво залежить від виконання фінішної механічної обробки. Вірогідність пошкодження поверхневого шару, може призвести не лише до втрат граничнодопустимих розмірів оптичних деталей а і до повного руйнування заготовок з нових перспективних сплавів. Зазвичай, таке руйнування відбувається внаслідок негативної дії потрапляння і заклинювання твердих частинок продуктів різання під час виконання операцій фінішної обробки. Приклад негативної дії продуктів різання що значно впливають на показники шорсткості подано на рис. 1 а, б одержаного при дослідженнях поверхневого шару зразків з боросилікатного скла з вкрапленнями із напівпровідниковими нанокристаллами $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$. Шорсткість оброблюваних поверхонь вимірювалася за допомогою профілометра-профілографа моделі SurfTest SJ-201 фірми Mitutoyo (Японія).

Метою досліджень було питання можливості моделювання розрахунку вірогідності пошкоджень під час фінішного формоутворення оптичних поверхонь сплаву з боросилікатного скла з вкрапленнями із напівпровідникових нанокристалів $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ при виконанні технологічних процесів механічної обробки.

Питання розглядалось на дослідженнях зв'язку між двома основними висотними параметрами шорсткості поверхонь Ra і $Rmax$ і на особливостях формоутворення активних поверхонь із боросилікатного скла з вкрапленнями напівпровідникових нанокристалів $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ із застосуванням вільних абразивних матеріалів та мастильної-охолоджуючої рідини (МОР) [4–6]. Встановлено, що подрипини на поверхнях досліджуваних зразків виникають між оброблюваною поверхнею та інструментом, внаслідок заклинювання твердих продуктів різання зв'язаних МОР.

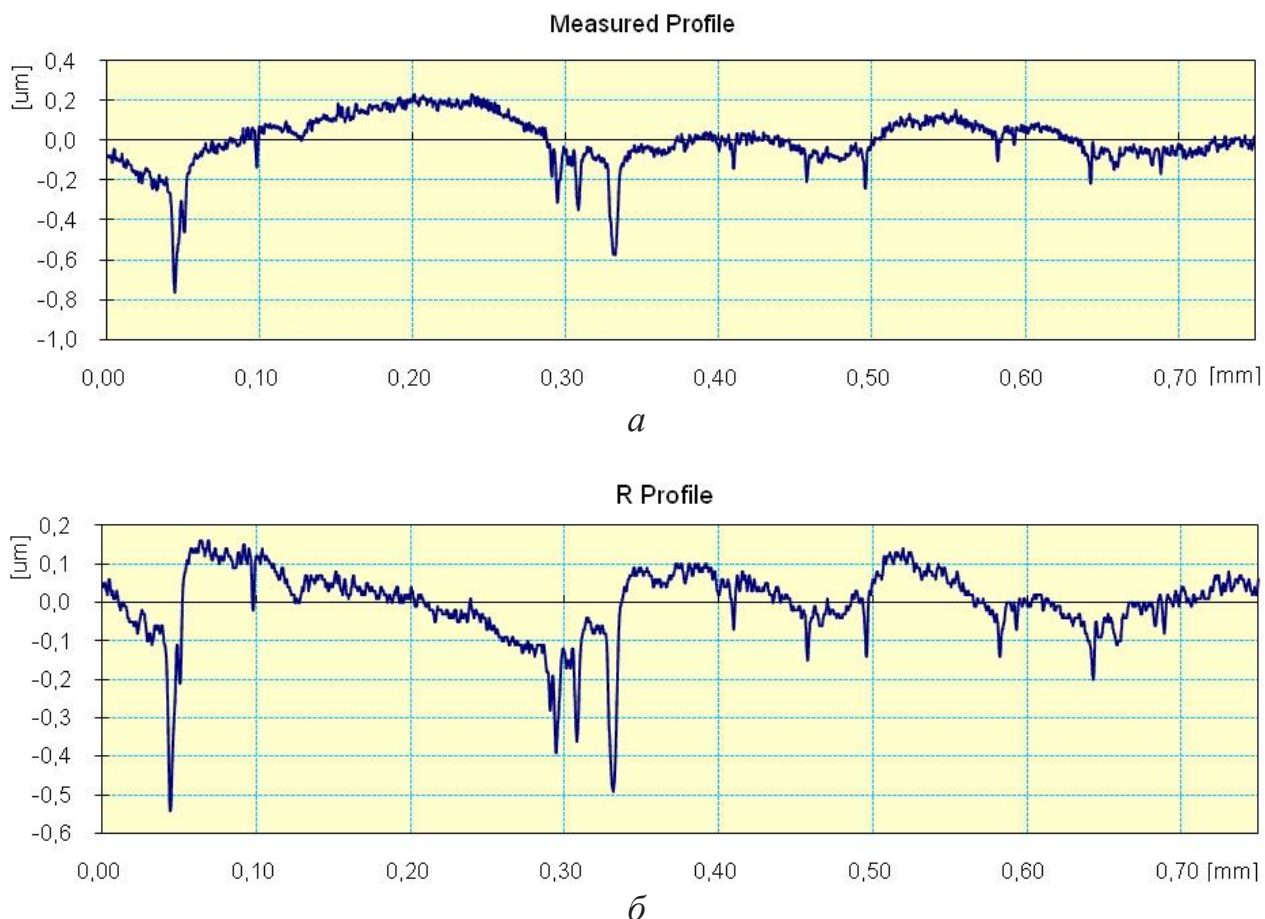


Рис. 1. Профілограми поверхні оптичних зразків з боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристалом $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ зі слідами подряпини

Для моделювання ймовірності потрапляння в зону різання твердих частинок, що пошкоджують поверхневий шар оптичних деталей, користувалися методами теорії ймовірності [7–10].

В результаті виконання роботи було виведено формулу вірогідності потрапляння твердих часток продуктів різання у зону фінішної обробки:

$$P_3 = \frac{1}{\sqrt{8\pi^3} \cdot \sigma \cdot \sigma_d} \int_0^{d_{\max}} \left\{ \int_h^{h+\sigma} \frac{1}{d} \exp \left[-\frac{(\ln d - m)^2}{2\sigma^2} \right] dd \cdot \right. \\ \left. \cdot \int_{h-d}^h \left[\int_{\frac{d_3}{\sigma_d} t + \frac{d_0}{\sigma_d}}^{\infty} \frac{1}{d_0} \exp \left(-\frac{t^2}{2} \right) dt \cdot \int_{-\frac{\sigma_c}{d_0} \left(1 + \frac{\sigma_d}{d_0} - \frac{x}{d_0} \right)}^{\frac{x}{\sigma_c}} \exp \left(-\frac{U^2}{2} \right) dU \right] dx \right\} dh,$$

де $d_{\max}$ – максимальний розмір перетину твердої частинки; m і σ – параметри логарифмічно нормального розподілу, h – розмір твердої частинки заклинювання, 2σ – довжина інтервалу розмірів твердих частинок, на якому відбувається дряпання.

З аналізу формули видно, що тверда частинка, яка потрапила разом з МОР в зону різання, залишає слід-подряпину на поверхні в тому випадку, коли розміри частки рівні або дещо перевищують відстань між поверхнею деталі до виступів та поверхнею інструменту. Заклинювання твердої частинки розміром h відбудеться в тому випадку, якщо діаметр частинки наближається до розміру h зверху, а відстань між виступаючими вершинами абразивних зерен інструменту і поверхнею деталі буде близьким з розміром h , наближаючись до нього знизу.

Також аналіз формули вказує на те, що при шліфуванні оптичних поверхонь зі сплаву боросилікатного скла із вкрапленнями напівпровідникових нанокристалів $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ на параметр $R_{\max}$ впливають розміри частинок абразивного шлам, їх кількість в МОР та ймовірність заклинювання частинок в зоні контакту. Зі збільшенням цих факторів параметр шорсткості $R_{\max}$ зростає, чим погіршує загальні показники шорсткості оброблюваних поверхонь і оптичної чистоти для активних поверхонь елементів зі сплаву боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристалом $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$.

Література

1. Phonon spectroscopy of $\text{CdSe}_{1-x}\text{Te}_x$ nanocrystals grown in a borosilicate glass / Yu.M. Azhniuk, A.V. Gomonnai, Yu.I. Hutysh et al. // Physica Status Solidi C. – 2009. – Vol. 6, № 9. – P. 2064–2067
2. Prots L.A. Features of process of polishing flat surfaces of composites based on borosilicate glass with the semiconductor nanocrystals $\text{CdS}_{1-x}\text{Se}_x$ // Системи розробки та постановки продукції на виробництво : мат. I Міжнарод. наук.-практ. конф., 17–20 травня 2016 р., м. Суми. – Суми: Сумський державний університет, 2016 – С. 108.
3. Формування пластин із композитних матеріалів на основі боросилікатного скла з напівпровідниковими нанокристалом $\text{CdS}_{1-x}\text{Te}_x$ / Л.А. Проц, В.І. Лавріненко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2016): тез доповідей VI міжнарод. наук.-практ. конф., 26–29 квітня 2016 р., м. Чернігів. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – С. 104.
4. Розробка мастильно-охолоджувальних рідин для прецизійної обробки монокристалів парателуриту та тетраборату літію / В.І. Лавріненко, Л.А. Проц // Сб. докл. Международ. науч.-техн. семинара «Новые материалы и инструменты». – К. : АТМ України. – 2005. – С. 60–65.

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

6. Соотношение между высотными параметрами шероховатости как показатель затратности процесса обработки / В.И. Лавриненко, Л.А. Проц // Размерная стабильность материалов и конструкций оптических и оптико-электронных приборов: тез. докл. науч.-практ. конф., 16–17 января 2014 г., г. Красногорск. – Красногорск. – 2014. – С. 95–96.

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

8. Молчанов В.Ф. Вероятностный подход к образованию шероховатости поверхностей при окончательной обработке // Системные технологии. – 2001. – № 2 – С. 101–110.

9. Влияние твердых частиц шлама на шероховатость поверхности при шлифовании и оценка вероятности возникновения царапин на обработанной поверхности / В.И. Лавриненко, В.Ф. Молчанов, В.Ю. Солод, О.О. Бурчак, Л.А. Проц // Modern questions of production and repair in industry and in transport: Mat. of the 18th Inter. sci. and tech. Seminar, Febr.10–16, 2018, Brno, Czech Republic. – К. : ATM Ukraine, 2018. – Р. 140–146.

10. Evaluation of reliability of injury in the finish formulation of optical surfaces of borosilicate glass with semiconductor CdS nanocrystals at the execution of the machining processes / L.A. Prots, V.I. Lavrinenko, V.F. Molchanov, V.Yu. Solod // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2018): мат. тез доп. VIII між народ. наук.-практ. конф., м. Чернігів, 10–12 травня 2018 р. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 179–180.

*Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А.,
Минина Н.А., Кудрявцев Е.М.* Институт металлургии
и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Сталь 09Г2С относится к конструкционным низколегированным (кремнемарганцовистым) сплавам для сварных конструкций. Из стали изготавливаются элементы и детали, которые могут работать

при температурах от -70°C до $+450^{\circ}\text{C}$. После закалки (нагрев до температуры $920\text{--}940^{\circ}\text{C}$ с последующим охлаждением в воду) и отпуска из этого сплава можно изготавливать детали трубопроводной арматуры [1].

Сталь 30ХГСА относится к классу конструкционных легированных (хромокремнемарганцевых) сталей и используется при производстве оборудования, эксплуатация которого не предполагает сильного нагревания. В закаленном состоянии (нагрев до температуры 880°C с последующим охлаждением в масло) сталь используется при изготовлении деталей, работающих при температуре до 20°C .

Сталь У8 относится к классу инструментальных углеродистых сталей и используется в основном при производстве инструментов, эксплуатация которых не предполагает сильного нагревания. В основном, сталь используется в закаленном состоянии (нагрев до температуры $780\text{--}800^{\circ}\text{C}$ с последующим охлаждением в воду [2]).

Сталь 45 относится к конструкционным углеродистым качественным сплавам, которые применяются для конструкций и устройств, функциональным назначением которых является устойчивость к высоким нагрузкам. Следует отметить, что сталь 45 используется при изготовлении нормализованных, улучшаемых и подвергаемых поверхностной термообработке (нагрев до температуры 850°C с последующим охлаждением в воду [2]) деталей, от которых требуется повышенная прочность. В работе исследовалась микротвердость сталей, химический состав которых, представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав сталей, масс. %

09Г2С [3]								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	V
≤ 0,12	0,5–0,8	1,3–1,7	0,30	0,035	0,030	0,30	≤ 0,3	≤ 0,12

30ХГСА [4]							
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,28–0,34	0,9–1,2	0,8–1,1	≤ 0,3	≤ 0,025	≤ 0,025	0,8–1,1	≤ 0,3

У8 [5]								
Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
осн.	0,75–0,84	0,17–0,33	0,17–0,28	≤ 0,25	≤ 0,018	≤ 0,025	≤ 0,2	≤ 0,25

Сталь 45 [6]										
Fe	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	As	N	Cu
осн.	0,42–0,50	0,17–0,37	0,50–0,80	≤ 0,040	≤ 0,035	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,08	≤ 0,008	≤ 0,30

Исследование микротвердости проводилось в микродиапазоне методом непрерывного индентирования в соответствии с международным стандартом ISO 14577–1.215, 2.215, 3.215 и 4.207 на автоматической установке NanoTest, позволяющей проводить испытания механических свойств поверхностей и их покрытий в диапазоне температур от комнатной до 500 °С. В работе использовался индентор Берковича. Некоторые особенности при измерении микротвердости представлены в [7]. Последующая математическая обработка диаграмм нагружения осуществлялась по методу Оливера-Фарра [8, 9], признанному наиболее точным.

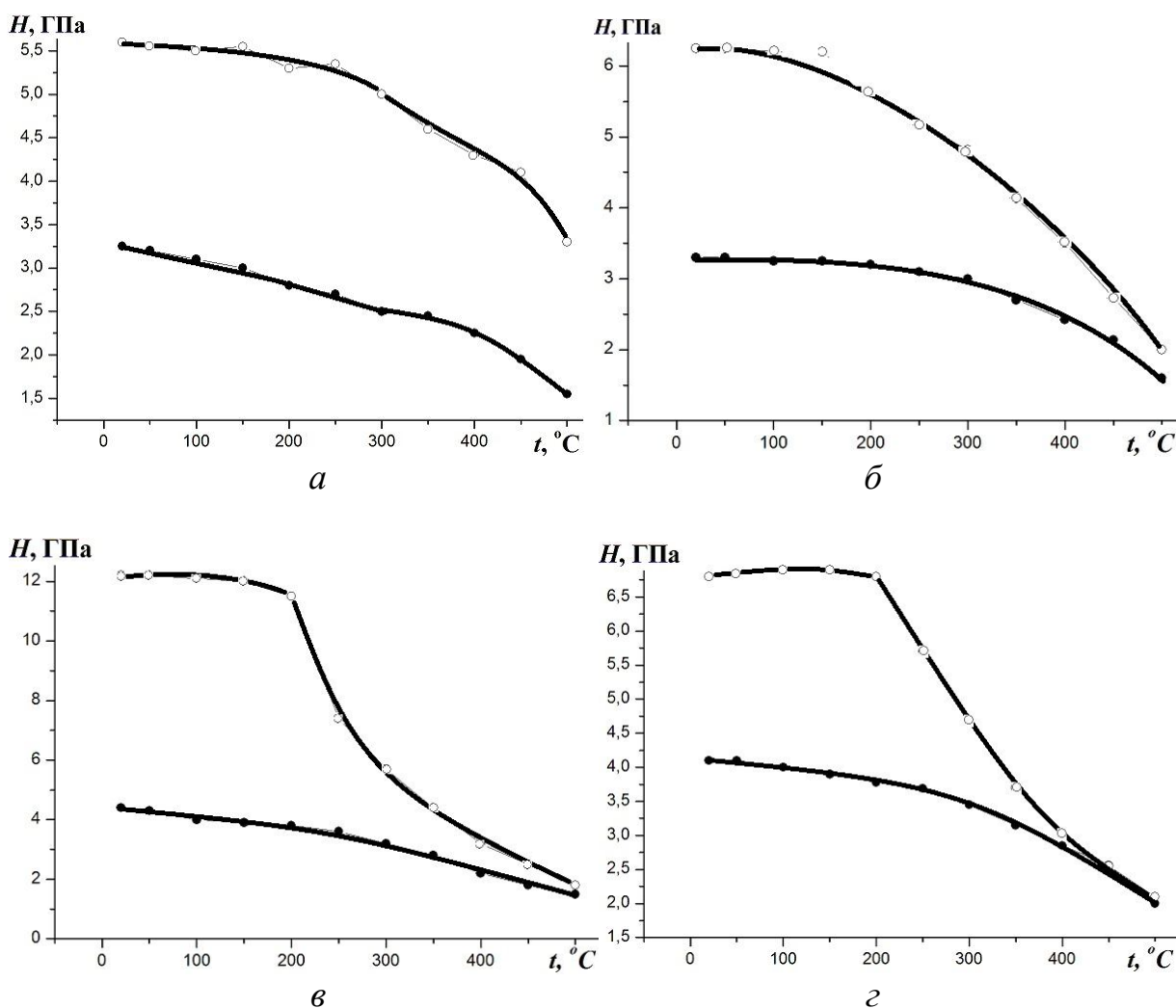


Рис. 1. Температурная зависимость микротвердости сталей в закаленном (○) и отожженном (●) состояниях: а – 09Г2С, б – 30ХГСА, в – У8, г – сталь 45

Экспериментальное исследование микротвердости сталей в закаленном и отожженном состояниях проведено в температурном диапазоне от комнатной до 500 °С. Полученные опытные данные представлены на рис. 1, из которого видно, что закалка в значительной мере повышает микротвердость сталей (для стали У8 почти в три

раза) при комнатной температуре. Однако, при температурах выше 150–200 °С ее значение резко падает, что существенно ограничивает использование сталей в закаленном состоянии.

Полученные опытные данные обрабатывались методом наименьших квадратов для получения температурных зависимостей в виде $H = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где H – микротвердость, t – температура, °С. В табл. 2 приведены коэффициенты аппроксимирующих уравнений для микротвердости сталей в закаленном и отожженном состояниях.

Таблица 2 – Значения коэффициентов аппроксимирующих уравнений для микротвердости сталей

Материал	A	B	C	D
Отожженный образец (20–500 °С)				
09Г2С	3,23	$-7,9 \cdot 10^{-4}$	$-4,8 \cdot 10^{-6}$	–
30ХГСА	3,30	$-2,78 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$-1,6 \cdot 10^{-8}$
У8	4,36	$-8,7 \cdot 10^{-4}$	$-4,0 \cdot 10^{-5}$	–
Сталь 45	4,06	$6,63 \cdot 10^{-4}$	$-9,3 \cdot 10^{-6}$	–
Закаленный образец				
09Г2С				
20–500 °С	5,52	0,002	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	–
30ХГСА				
20–150 °С	6,26	$-4,6 \cdot 10^{-4}$	–	–
150–500 °С	7,01	–0,004	$-1,2 \cdot 10^{-5}$	–
У8				
20–200 °С	12,17	0,003	$-2,95 \cdot 10^{-5}$	–
200–500 °С	27,46	–0,104	$1,0 \cdot 10^{-4}$	–
Сталь 45				
20–200 °С	6,74	0,003	$-1,3 \cdot 10^{-5}$	–
200–500 °С	13,14	–0,038	$3,14 \cdot 10^{-5}$	–

Выводы. Проведено экспериментальное исследование микротвердости ряда сталей в отожженном и закаленном состояниях, что позволило определить температурный диапазон их использования в закаленном состоянии. Получены аппроксимирующие уравнения для температурных зависимостей микротвердости исследованных сталей.

Литература

1. Марочник сталей и сплавов / Под общей ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

2. Марочник сталей и сплавов / Под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. 784 с.
3. Прокат повышенной прочности. Общие технические условия. ГОСТ 19281-2014. – М. : Стандартиформ, 2015. – 52 с.
4. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. ГОСТ 4543-71. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 49 с.
5. Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия. ГОСТ 1435-99. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 23 с.
- 6.Metalloпродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия. ГОСТ 1050-2013. – М.: Стандартиформ, 2014. – 13 с.
7. Размерный эффект при непрерывном наноиндентировании / М.М. Ляховицкий, В.В. Рощупкин, М.А. Покрасин, Н.А. Минина. Сб. мат. VI-ой Всерос. конф. по наноматериалам с элементами науч. шк. для молодежи. – М. : ИМЕТ РАН, 2016. – С. 537–538.
8. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – Vol. 7, № 6. – P. 1564–1583.
9. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // J. Mater. Res. – 2004. – Vol. 19, № 1. – P. 3–20.

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

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

АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИТИКИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ТРИП-СТАЛИ НА ПЛОЩАДКЕ ТЕКУЧЕСТИ И СТАДИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

С использованием метода акустической эмиссии (АЭ) проведены исследования особенностей поведения при статическом растяжении тонколистовой (толщиной 0,3 мм) аустенитно-мартенситной трип-

стали ВНС 9-Ш (0,25 С; 14,5–16,0 Cr; 4,8–5,8 Ni; 2,7–3,2 Мо; Мп $\leq 1,0$; Si $\leq 0,6$; 0,03–0,07 N; S $\leq 0,01$; P $\leq 0,015$; Fe – основа, % мас.) с акцентированием внимания на различии особенностей протекания деформации на площадке текучести и зубчатого течения на стадии деформационного упрочнения. Испытания на статическое растяжение со скоростью 5 мм/мин при комнатной температуре осуществляли с использованием плоских образцов (рис. 1) с рабочей частью 20×20 мм на электро-механической 10-тонной машине Instron 3382. Исследование АЭ в процессе деформации образцов из трип – стали ВНС9-Ш проводилось с использованием акустико-эмиссионной диагностической системы СДС1008 [1] (рис. 2, а), позволяющей осуществлять регистрацию, обработку, измерение и анализ комплекса параметров АЭ, включая распределение спектральной плотности мощности сигналов АЭ в частотном диапазоне 50–1000 кГц, а также определять линейные координаты источников АЭ вдоль рабочей части образца. Локация источников АЭ осуществлялась посредством применения двух каналов регистрации АЭ системы, при этом два преобразователя АЭ (D1, D2) устанавливались в области переходов от рабочей части образца к более широким его частям (рис. 1 и рис. 2, б). Расстояние между датчиками составляло 70 мм.

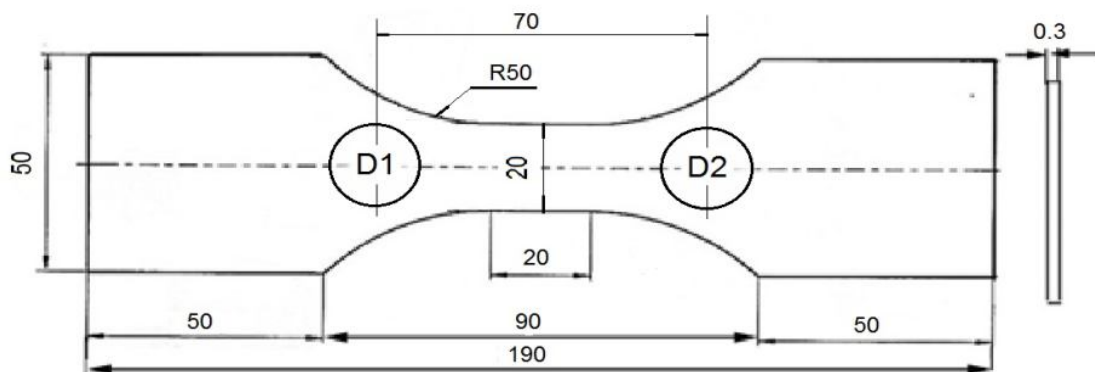


Рис. 1. Образец для испытания на статическое растяжение (D1, D2 – места установки преобразователей АЭ)

Основной задачей исследования было установление механизма локализации деформационных процессов в трип-стали на площадке текучести и стадии деформационного упрочнения, на которой наблюдается зубчатость, связанная с образованием мартенсита деформации. С этой целью была задействована программа определения координат источников сигналов АЭ «МАЭСТРО» [1].



Рис. 2. Акустико-эмиссионная диагностическая система СДС1008 (а) и схема крепления преобразователей АЭ (D1-D2) на образце в захватах испытательной машины Instron 3382 (б)

На рис. 3 представлена кривая растяжения трип-стали с указанием основных стадий деформирования. Были получены следующие характеристики механических свойств: а - предел прочности $\sigma_B = 1802$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 1362$ МПа, физический предел текучести $\sigma_T = 1650$ МПа, относительное удлинение $\delta = 27\%$, деформация на стадии микротекучести $0,7\%$; деформация на площадке текучести $\epsilon_T = 5\%$.

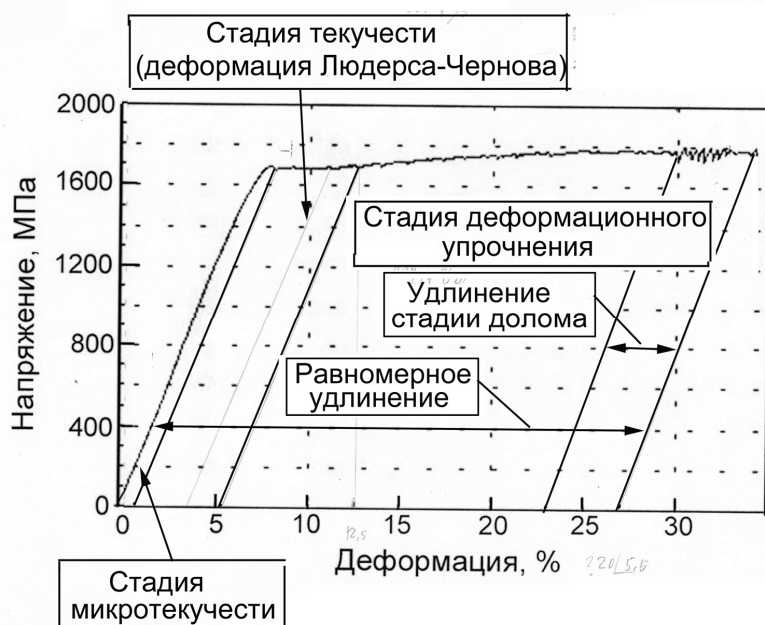


Рис. 3. Кривая растяжения трип-стали с указанием основных стадий деформирования

На рис. 4 представлены данные по изменению энергии импульсов и суммарной энергии АЭ (рис. 4, а) и амплитудное распределение осциллирующих импульсов АЭ (рис. 4, б) в процессе статического растяжения во временном интервале от 15с до 104с ($\epsilon = 5\text{--}33\%$), не включающим участок микропластичности,

подробно рассмотренным в [2], а также момент разрушения образца, когда энергия импульса на два порядка превышает уровень АЭ на стадии деформационного упрочнения (табл. 1).

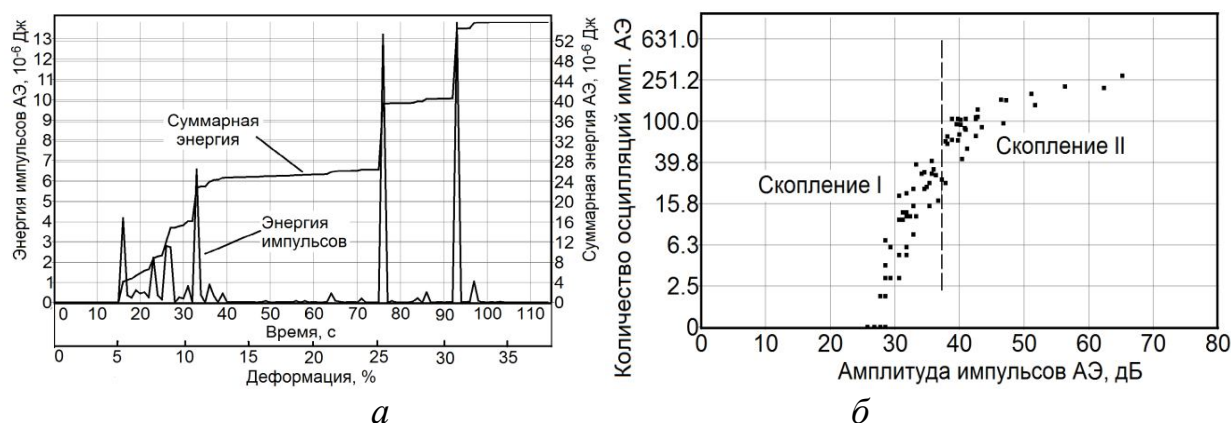


Рис. 4. Изменение энергии импульсов и суммарной энергии АЭ (а) и амплитудное распределение осцилляций импульсов АЭ при растяжении образца из трип-стали ВНС9-Ш в диапазоне $\varepsilon = 5\text{--}33\%$

Таблица 1 – Координаты источников и параметры сигналов АЭ зарегистрированных в процессе статического растяжения в диапазоне $\varepsilon = 5\text{--}33\%$

№	Коорд. 1	Датчики группы	Номера АЭ событий	Время	Локационная амплитуда (дБ)
1	X = 3,05 см	1–2	73,74	00:00:26	40,99
2	X = 3,20 см		76,77	00:00:26	45,9
3	X = 3,20 см		78,79	00:00:26	45,68
4	X = 3,80 см		83,84	00:00:27	66,3
5	X = 4,10 см		85,86	00:00:29	56,8
6	X = 3,80 см		88,89	00:00:31	50,01
7	X = 4,25 см		91,92	00:00:31	48,87
8	X = 1,10 см		95,96	00:00:33	59,46
9	X = 3,35 см		98,99	00:00:34	54,58
10	X = 2,60 см		104,105	00:00:39	46,01
11	X = 2,60 см		106,107	00:00:39	42,7
12	X = 3,35 см		108,109	00:00:49	44,12
13	X = 4,10 см		112,113	00:01:04	56,26
14	X = 4,55 см		115,116	00:01:06	43
15	X = 4,85 см		124,125	00:01:26	50,53
16	X = 4,35 см		138,139	00:01:43	47,82
17	X = 3,20 см		140,141	00:01:45	86

Ранее показано [2], что сигналы скопления I (см. рис. 4, б) связаны с движением и размножением дислокаций, а скопления II – с возможным фазовым превращением. АЭ сигналы скопления II (с амплитудой более 38 дБ) регистрируются преимущественно на площадке текучести и после локализации деформации (рис.5, (а) и (в)), когда в локальных объемах материала происходит интенсивная пластическая деформация (деформация Людерса-Чернова на площадке текучести или шейкообразование на заключительной стадии деформационного упрочнения), сопровождаемая фазовыми превращениями – образованием мартенсита деформации трип-стали.

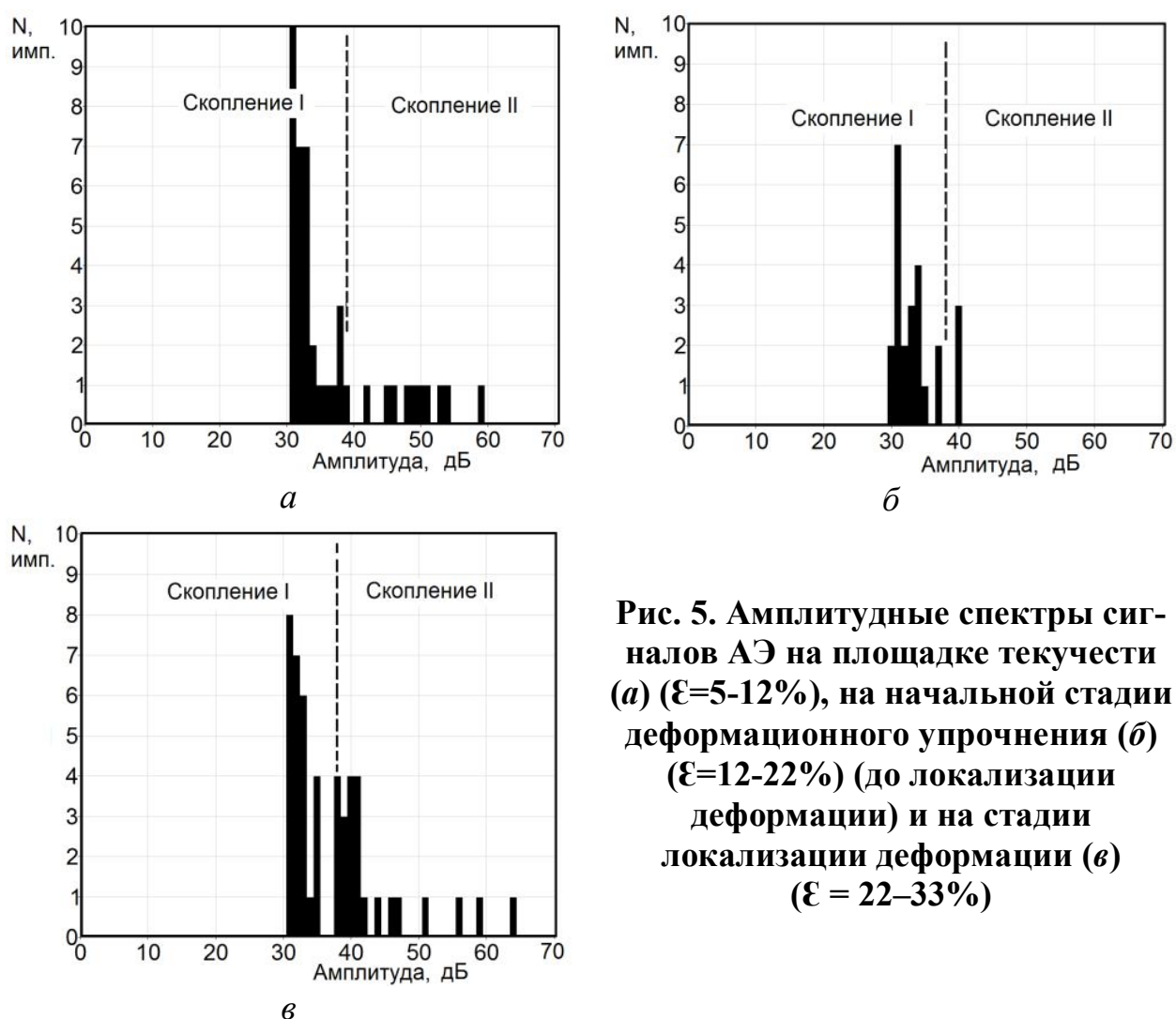


Рис. 5. Амплитудные спектры сигналов АЭ на площадке текучести (а) ($\epsilon=5-12\%$), на начальной стадии деформационного упрочнения (б) ($\epsilon=12-22\%$) (до локализации деформации) и на стадии локализации деформации (в) ($\epsilon = 22-33\%$)

Высокая амплитуда и энергия таких сигналов АЭ позволяют аппаратными и программными средствами определить местоположение таких источников и таким образом проследить кинетику распространения полос Людерса-Чернова на площадке текучести и шейкообразование на заключительной стадии деформационного упрочнения. В таблице представлены результаты локаций высоко-

амплитудных сигналов АЭ, зарегистрированных в процессе статического растяжения в диапазоне $\varepsilon = 5\text{--}33\%$.

На основании приведенных данных можно заключить, что распространение полос Людерса-Чернова на площадке текучести начинается на 26 секунде (АЭ сигнал № 1) в рабочей части образца со стороны АЭ преобразователя D1 (см. рис. 1) ($x = 3,05$ см) и завершается через пять секунд на противоположной стороне рабочей части АЭ сигналом № 7 ($x = 4,25$). «Волна» многократного шейкообразования, можно считать, начинается с АЭ события № 12 на 49 секунде также со стороны преобразователя D1 ($x = 3,35$ см) и достигает противоположной стороны рабочей части образца ($x = 4,85$ см) на 86 секунде (АЭ сигнал № 15). Разрушение образца происходит в той области рабочей части ($x = 3,20$ см), вблизи которой инициировались и деформация Людерса-Чернова и первичное шейкообразование и сопровождается АЭ амплитудой 86 дБ (АЭ сигнал №17).

Литература

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

2. Анализ стадийности деформации трип-стали методом акустической эмиссии / А.Г. Пенкин, В.Ф. Терентьев, Рощупкин В.В. и др. // Деформация и разрушение. – 2016. – № 10. – С. 35-40.

3. Особенности поведения тонколистовой аустенитно-мартенситной трип – стали ВНС9-Ш в условиях статического и циклического деформирования / В.Ф. Терентьев, Д.В. Просвирнин, А.К. Слизов и др. // Деформация и разрушение материалов. – 2017. – № 8. – С. 39-47.

4.. Терентьев В.Ф., Слизов А.К., Просвирнин Д.В. Проявление трип-эффекта в аустенитно-мартенситной стали ВНС9-Ш при различных скоростях деформации // Деформация и разрушение. – 2016. – №1. – С. 14–18.

5. Зуев Л.Б., Горбатенко В.В., Данилов В.И. Полосы Чернова-Людерса и эффект Портевена-Ле Шателье как неустойчивости пластического течения // Деформация и разрушение материалов. –2016. – № 8. – С. 2–8.

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

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОСЛЕ ШЛИФОВАНИЯ КРУГАМИ ИЗ КНБ

Целью нашей работы было исследование структуры поверхностного слоя зубчатых колес после шлифования тарельчатыми кругами из кубического нитрида бора (КНБ).

Шлифование зубчатых колес осуществляли на специальном стенде, созданном на базе зубошлифовального станка модели 5891. Шлифование производилось тарельчатыми кругами из КНБ (КР 125/100) Ø225 мм на органической (В2-08) связке и сравнивались со шлифованием кругами из электрокорунда белого. Скорость шлифовального круга – $v_k = 27$ м/с, глубина шлифования – $t = 0,01–0,1$ мм, время обката на одном зубе – $\tau = 3–12$ с. Шлифовали зубчатые колеса из стали ХВГ (60 HRC) модуль $m = 6$ мм, число зубьев $z = 21$ зуб, ширина венца $B = 20$ мм.

Металлографические и рентгеноструктурные исследования поверхностного слоя зубчатых колес показали, что шлифование кругами из КНБ с охлаждением при $t = 0,01$ мм приводит к формированию поверхностного слоя зубьев с микроструктурой, не отличающейся от структуры глубинных слоев металла (рис. 1, 7в). При послойном рентгеноструктурном анализе в железном и медном излучении градиент концентрации остаточного аустенита в поверхностном слое отсутствует, практически одинакова и ширина рентгеновских линий.

Дальнейшее повышение глубины резания до 0,1 мм приводит к образованию слоя вторичной закалки, что ясно видно по количеству остаточного аустенита (в железном излучении) и появлению отдельных участков слоя вторичной закалки (рис. 1, 8г). Только в медном излучении наблюдается заметное повышение количества остаточного аустенита, а на микрошлифах после шлифования с $t = 0,05$ мм видны следы вторичной закалки (рис. 1, 6б).

Исследования состояния поверхности зубьев после шлифования кругами из электрокорунда показало, что температура на всех режимах выше, чем в случае обработки кругами из КНБ. При глубине резания $t = 0,01$ мм в железном излучении наблюдается существенное сужение рентгеновских линий и повышение до 25% количества оста-

точного аустенита (рис. 1, 1а). При $t = 0,05$ мм линии (110)-фазы настолько размыты, что определить их ширину не представляется возможным (рис. 1, 2б). Содержание остаточного аустенита в этом случае превышает 50%. Дальнейшее повышение глубины резания до 0,1 мм приводит к образованию слоя вторичной закалки (рис. 1, 4з).

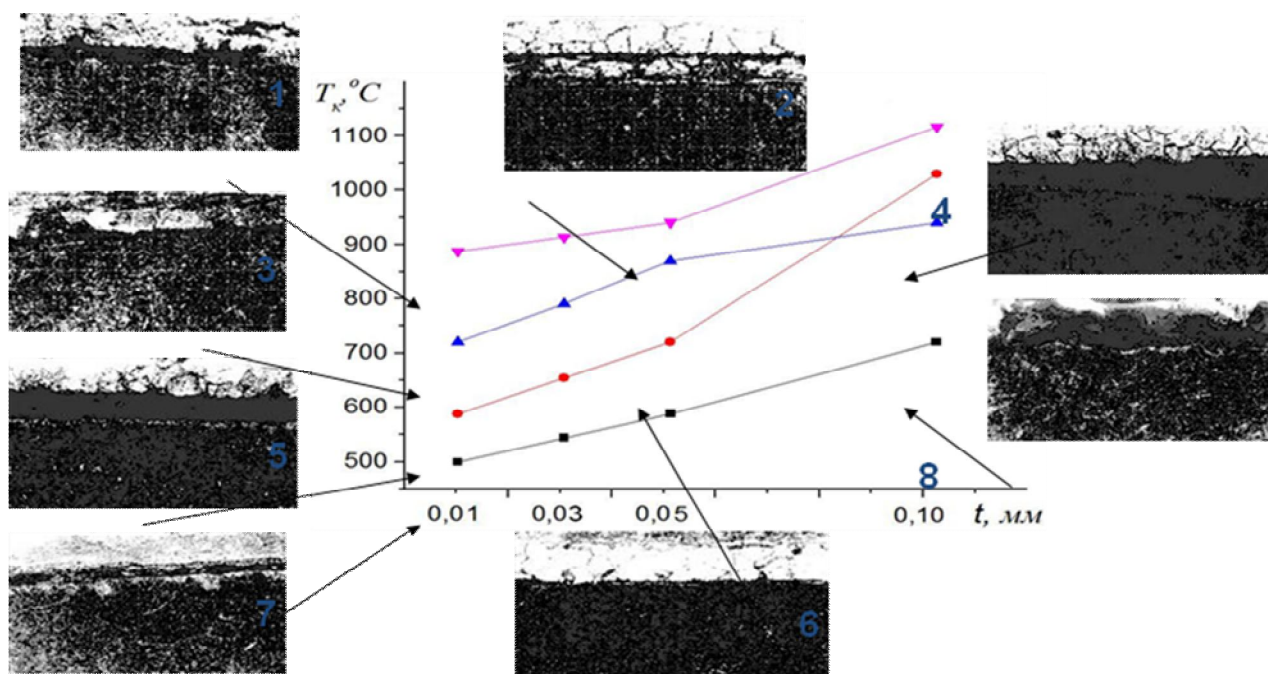


Рис. 1. Структура поверхностного слоя зубьев после обработки кругом из электрокорунда белого: из КНБ:

1а – $t = 0,01$ мм $\tau = 5$ с, без СОТС, 5а – $t = 0,01$ мм, $\tau = 5$ с, без СОТС,
 2б – $t = 0,05$ мм $\tau = 5$ с, без СОТС, 6б – $t = 0,05$ мм, $\tau = 5$ с, без СОТС,
 3в – $t = 0,01$ мм $\tau = 5$ с, с СОТС, 7в – $t = 0,01$ мм, $\tau = 5$ с, с СОТС,
 4з – $t = 0,1$ мм $\tau = 8$ с, с СОТС, 8з – $t = 0,1$ мм, $\tau = 8$ с, с СОТС.

В результате комплексного металлографического и рентгеноструктурного анализов поверхностного слоя зубчатых колес установлено, что шлифование кругами из КНБ с глубиной резания $t = 0,1$ мм и более нецелесообразно, так как глубина дефектного слоя превышает припуск на обработку и составляет около 200 мкм, который не может быть удален на последующих финишных операциях обработки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ МОЮЩЕГО СРЕДСТВА ПРИ МОЙКЕ АВТОМОБИЛЯ

При обслуживании на станции технического обслуживания автомобиль должен быть очищен от загрязнений, которым он подвергается в процессе эксплуатации. На данный момент посты мойки, где проводится очистка автомобиля от загрязнений, имеют недостатки, связанные с экологическим аспектом. Одним из недостатков является большое содержание синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), которые являются основополагающим компонентом моющего средства, в сточных водах.

Одним из путей решения данной проблемы является разработка технологии мойки, обеспечивающей снижение расхода моющего средства. В данной работе рассматривается возможность применения ультразвуковых колебаний при распылении моющего раствора.

Нанесение пены на кузов автомобиля происходит распылением форсунками порталных и туннельных моек, либо распыляющими пистолетами пеногенераторов. Недостатком использования пеногенератора является необходимость его частой заправки моющим средством. У порталных моек такая проблема менее выражена ввиду применения емкости для моющего средства большего объема.

В данной статье предлагается совершенствование процесса нанесения пены за счет применения ультразвуковых технологий.

Ультразвуковые технологии нашли широкое применение при обработке дисперсных систем различного типа [2]. В статье [1] представлены результаты исследований по влиянию режимов ультразвуковой обработки на процесс пенообразования. Показано, что в результате ультразвуковой обработки образуется высокодисперсная пена, обладающая высокой устойчивостью. Это повысит эффективность взаимодействия с загрязнениями, т.к. за счет меньшего размера пузырьков такая пена эффективнее проникает вглубь загрязнений, расщепляя их изнутри. Данный способ приготовления отличается отсутствием необходимости подвода сжатого воздуха, процесс

идет за счет эффектов, вызываемых ультразвуковыми колебаниями – кавитацией и акустическими потоками.

Для создания ультразвуковой технологии использования моющего средства предлагается наносить получаемую пену методом ультразвукового распыления.

Процесс ультразвукового распыления превосходит прочие процессы распыления за счет таких преимуществ, как однородность факела распыла, высокая концентрация аэрозоля и отсутствие необходимости в высоком давлении.

В рассматриваемом случае процесс распыления можно рассматривать как распыление жидкости в слое. Механизм распыления слоя жидкости описывается кавитационно-волновой теорией. Согласно этой теории, распыление осуществляется путем отрыва капелек жидкости с гребней стоячих волн, параметрически возбуждаемых на поверхности раздела сред жидкость-воздух вследствие возмущения поверхности жидкости при пульсации и захлопывании кавитационных пузырьков.

В настоящее время существуют специальные конструкции излучателей, предназначенные для распыления жидкостей. Процесс распыления таким инструментом выглядит следующим образом: моющее средство в виде пены подаётся в осевой канал, проходя по которому подвергается воздействию низкоамплитудных колебаний его стенок, в результате чего пена частично гасится, увеличивается её текучесть. Далее, попадая на торец излучателя, сохранившиеся пенные пузырьки дробятся, а осевшая часть пены распыляется в соответствии с механизмом, описанном выше.

Также возможна подача моющего средства в виде жидкости, т.е. без предварительной ультразвуковой обработки. Тогда процесс пенообразования будет происходить одновременно с распылением. Недостатком такого способа является низкая скорость пенообразования. Как показали предварительные эксперименты [1], при распылении с высокой амплитудой в пену превращается только 10–20% распыляемого объёма. В любом случае, получаемая пена будет иметь высокодисперсную структуру, что обеспечит эффективное взаимодействие с загрязнениями на кузове автомобиля. При этом все процессы происходят под действием только ультразвуковых эффектов, что исключает необходимость применения сжатого воздуха и высокого давления.

Применение ультразвуковых технологий позволяет модернизировать процесс мойки кузова автомобиля за счет приготовления высокодисперсной пены, а так же равномерного её распыления. В результате при сохранении качества мойки снижается расход моющего средства за счет более эффективного взаимодействия моющего средства с загрязнениями. Как следствие, снижается количество поступающих в сточные воды СПАВ, и, тем самым, снижается урон, наносимый окружающей среде.

Литература

1. Применение ультразвука при получении пен, применяемых для мойки изделий машиностроения / В.В. Гриб, Н.В. Лёвушкина, Р.И. Нигметзянов и др. // Вестник МАДИ. – 2017. – № 1(48). – С. 43–49.
2. Инструменты для ультразвуковой очистки: монография / В.Ф. Казанцев, Ю.Н. Калачев, Р.И. Нигметзянов и др. – М.: Техполиграфцентр, 2017. – 181 с.

*Титаренко В.И., Лантух В.Н. ООО «НПП РЕММАШ», Днепр,
Парамонов В.А., Петренко А.В. ПАО «Кривбассжелезрудком»,
Кривой Рог, Украина*

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ УСТАНОВКА ИЗРМ-5 – БОЛЬШИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ НАПЛАВКИ МАЛО И СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В 2007 году ООО «НПП РЕММАШ» разработал и выпустил первые установки для наплавки малогабаритных деталей РМ-165 и ИЗРМ-5. Установки этой серии, о которых мы можем получать информацию, работают и в настоящее время. То есть это говорит о том, что они являются востребованными и имеют достаточно продолжительный служебный ресурс. И, тем не менее, в 2017 году, когда ООО «НПП РЕММАШ» получил заказ на изготовление установки ИЗРМ-5 от ПАО «Кривбассжелезрудком», мы, исходя из номенклатуры деталей, под наплавку которых заказывалась установка, а также возможности использовать более современные комплектующие и наши новые наработки для других установок, решили значительно обновить конструкцию и возможности установки

ИЗРМ-5. В первую очередь отталкиваясь от номенклатуры деталей колесо (рис. 1) и ось (рис. 2) шахтной тележки, мы совместно со специалистами ПАО «Кривбассжелезрудком» разработали техническое задание, в котором постарались заложить в виде требований к установке большой диапазон ее технических и технологических возможностей и характеристик. И хотя заказчика интересовала установка только для электродуговой наплавки открытой дугой самозащитной порошковой проволокой, даже в этот базовый вариант была заложена возможность использования ее (при комплектации специальным мундштуком) для наплавки в защитных газах. А дополнительная комплектация ИЗРМ-5 бункером для флюса и ее оснасткой для подачи флюса к наконечнику мундштука для защиты флюсом дуги, использование установки для наплавки под флюсом.

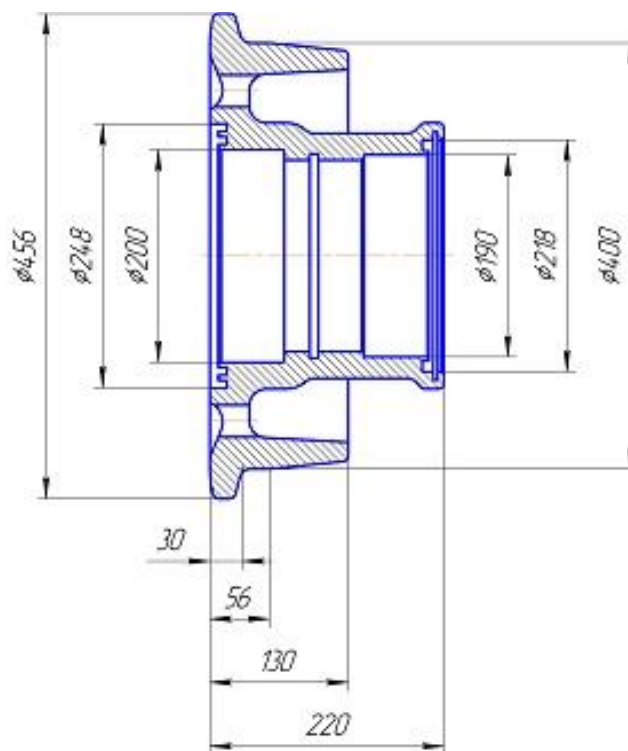


Рис. 1. Колесо В-067А-05/10

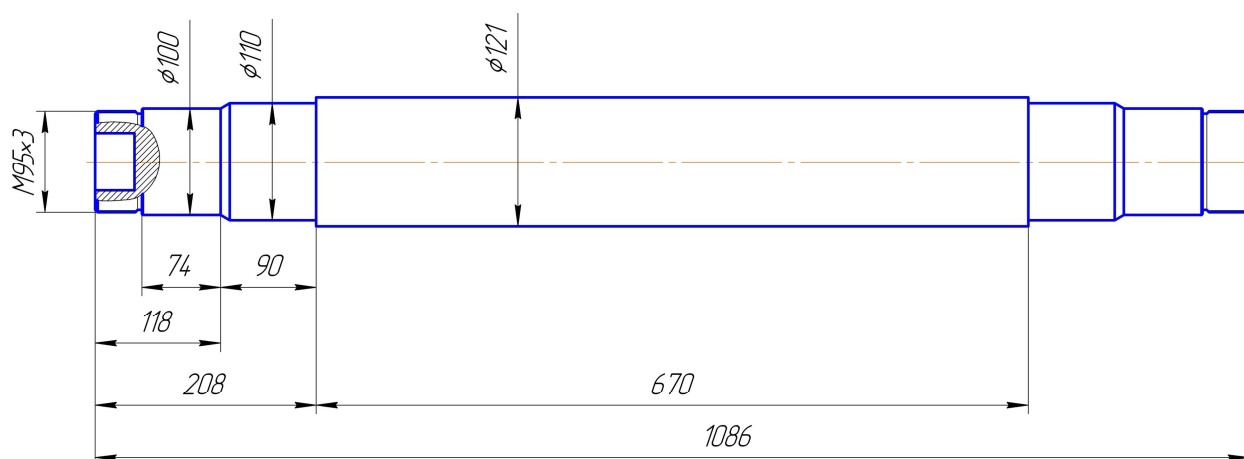


Рис. 2. Ось В-067А-05/01

Кроме этого в конструкции установки заложены возможности автоматического перевода на шаг как ступенчато через каждый полный оборот, так и по спирали, что позволяет выбрать оптимальный вариант передвижения мундштука в зависимости от типа и

протяженности наплавляемой поверхности. Особенно эффективно показала себя установка при наплавке в автоматическом режиме с автоматическим переводом на шаг как горизонтально, так и вертикально при наплавке гребней колес, что позволило получить ровную наклонную поверхность и свести к минимуму как расход наплавочных материалов, так и трудоемкость последующей механической обработки.

Важным элементом, который соединяет наплавочную установку с наплавляемой деталью и которой ООО «НПП РЕММАШ» уделяет большое внимание, является технологическая оснастка. Так для колеса разработана оснастка позволяющая закреплять колесо на планшайбе вращателя, при этом наплавлять как поверхность катания так одну из внутренних посадочных поверхностей. Правда для наплавки внутренней поверхности с другой стороны колеса требуется его переустановка.

Для наплавки осей используются специальные конические грибки, один из которых крепится на план-шайбе, другой на задней бабке.

Для получения колес детального представления о конструкции установки приводим ее описание.

Наплавочная установка ИЗРМ-5 (рис. 3 и 4) смонтирована на сварочном столе (поз. 1). Для крепления на столе частей установки предназначенных для закрепления и вращения наплавляемых деталей на поверхности стола смонтирована рама (поз. 2), на которой с левой ее стороны закреплен сварочный вращатель М211080 (поз. 3), а с правой стороны задняя бабка (поз. 5). Сварочный вращатель предназначен для закрепления и вращения со сварочной скоростью наплавляемых деталей. Наплавляемые детали могут закрепляться либо только на планшайбе вращателя (при наплавке колес), либо в центрах, один из которых устанавливается на планшайбе вращателя, другой на задней бабке (при наплавке осей). Поэтому на этапе подготовки установки к наплавке определенного типа деталей на планшайбе монтируют определенный тип технологической оснастки предназначенной для закрепления и наплавки определенного типа деталей и необходимой поверхности. Конструкция установки с соответствующей ее подготовкой и оснасткой предусматривает возможность:

а) наплавки поверхности катания и гребня колеса (черт. №В-067А-05/10);

б) наплавки посадочных мест под подшипник на колесе (черт. №067А-05/10) на глубину от торца до 75 мм;

в) наплавки поверхности осей (черт. №067А-05/01) (в центрах);

г) наплавки других типов деталей с размерами и массой в пределах технической характеристики установки (закрепление которых возможно в токарном патроне, устанавливаемом на планшайбе вращателя).

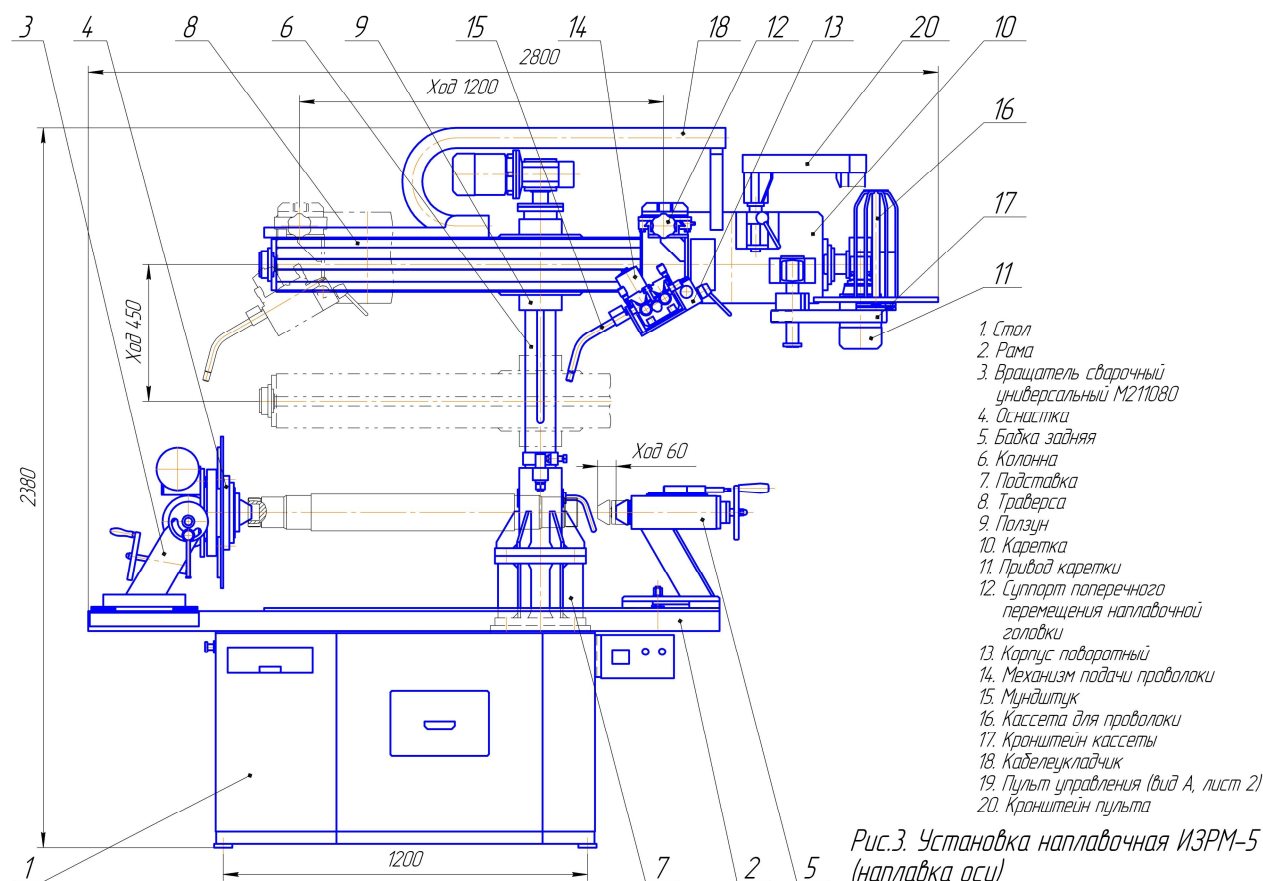


Рис. 3. Установка наплавочная ИЗРМ-5 (наплавка оси)

Задняя бабка (поз. 5), установленная на столе и закрепленная за раму стола болтами, может передвигаться вдоль условной продольной оси наплавляемой детали, для чего необходимо отпустить болтовое соединение, передвинуть по наплавляющим заднюю бабку на необходимое место с учетом длины закрепляемой для наплавки детали и ходом пиноли (60,0мм). Задняя бабка, кроме устройства передвижения пиноли, имеет устройство регулировки степени сжатия компенсирующей пружины, предназначенной для компенсации удлинения детали, особенно длинномерных при их нагреве.

На столе так же установлена и закреплена подставка (поз. 7) предназначенная для крепления, поворотной стационарной колонны (поз. 6). Колонна состоит из неповоротной части, которая устанавливается и крепится на подставке и на которой находится фиксатор фиксирующий колонну, повернутую в необходимое положение.

Поворотная часть колонны может устанавливаться во множестве положений, из которых два обязательных: первое положение рабочее, когда траверса, закрепленная на колонне, устанавливается параллельно горизонтальной оси проведенной между центром вращателя и задней стойки, второе – когда колонна из рабочего положения поворачивается на 90° по часовой стрелке, применяют во время установки и закрепления детали на планшайбе вращателя. Другие положения колонны выбираются во время установки различных типоразмеров наплавляемых деталей исходя из их формы и размеров.

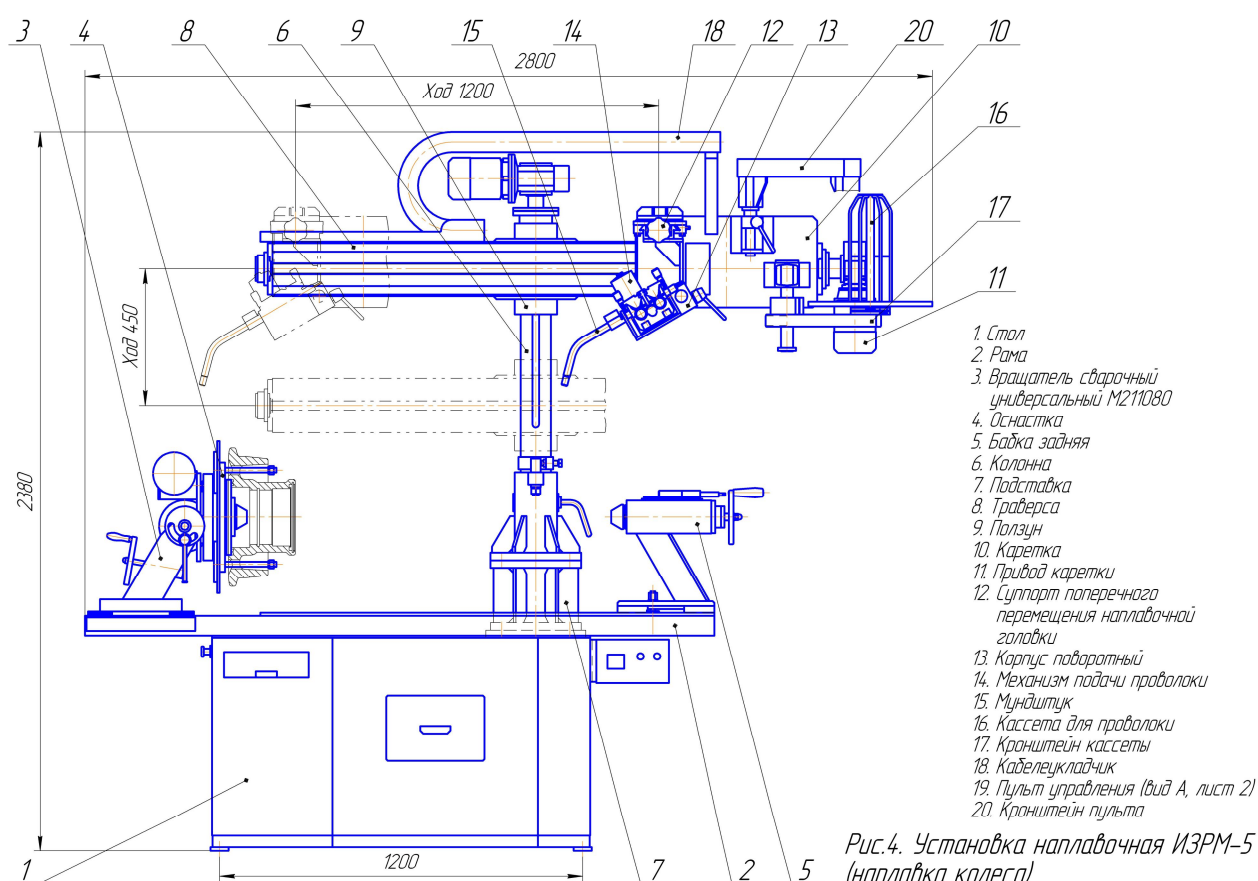


Рис. 4. Установка наплавочная ИЗРМ-5 (наплавка колеса)

Установленная в необходимое положение поворотная часть колонны закрепляется фиксатором, который перед ее поворотом выдвигается. На подвижной части поворотной колонны на ее ползуне (поз. 9) смонтирована горизонтальная траверса (поз. 8), которая с помощью механизма вертикального передвижения ползуна и мотор-редуктора, установленного на колонне поднимается и опускается в маршевом настроечном и рабочем режимах со скоростью 2,335 мм/сек. На траверсе по ее длине смонтированы две направляющие, между которыми установлен винт, приводимый во вращение мотор-

редуктором, установленным на конце траверсы (поз. 11), являясь одной составной частью механизма продольного перемещения наплавочной головки. Вторая часть этого механизма, состоит из скользящих по направляющим траверсы элементов, смонтированных на наплавочной каретке (поз. 10) и передвигающихся по направляющим траверсы с помощью закрепленной на ней гайки по вращающемуся на траверсе винту.

На подвижной наплавочной каретке (поз. 10) смонтирован суппорт поперечного перемещения наплавочной головки (поз. 12) предназначенный для выставления необходимой величины смещения электрода с зенита при наплавке. К суппорту поперечного перемещения прикреплен поворотный корпус (поз. 13), на котором установлен механизм подачи проволоки КП007 (поз. 14). Благодаря этому, путем поворота корпуса вокруг оси можно установить необходимый угол наклона подающего механизма и закрепленного на нем мундштука (поз 15) по отношению к наплавляемому изделию. Для этого необходимо прижимную ручку поворотного корпуса отпустить, установить необходимый угол наклона мундштука и ручкой снова зажать. Регулировка поперечного смещения мундштука с зенита производится путем вращения выступающей ручки маховика и визуальным контролем за величиной смещения.

Механизм подачи проволоки (поз. 14) состоит из четырехроликовой приставки со сменными нижними подающими роликами соответствующими типу и диаметру наплавочной проволоки, верхними прижимными и червячного редуктора с электродвигателем 100 Вт. Наплавочный мундштук (поз. 15) представляет собой сборную конструкцию, внутри которой находится спираль, которую на входе фиксирует втулка. Заканчивается мундштук съемным наконечником с диаметром внутреннего отверстия соответствующего применяемой наплавочной проволоки.

На наплавочной каретке с помощью кронштейна (поз. 17) крепиться кассета для проволоки (поз. 16). Эта кассета предназначена для укладки проволоки поставляемой в бухтах. При использовании проволоки уложенной в кассеты К-200÷К300, кассета для проволоки в бухтах снимается и на каретке закрепляется тормозное устройство, входящее в комплект установки для закрепления проволоки в кассетах К-200–К-300.

Электрический шкаф управления находится в закрытой нише с тыльной стороны стола.

Кабеля управления и сварочный кабель уложены в кабелеукладчик (поз.18). Пульт управления (поз.19) условно не показан, он крепится с помощью кронштейна пульта (поз.20) на каретке и передвигается вместе с ней.

Рабочая поверхность стола под местом установки наплавляемых деталей имеет наклонные направляющие, по которым шлак падающий и оббиваемый при наплавке должен сыпаться в бункер для сбора шлака, откуда он периодически убираться путем выдвигания ящика находящегося на передней центральной части стола.

Отдельно от установки смонтированной на столе устанавливается в непосредственной близости (не далее 2–3 м) универсальный сварочный выпрямитель КИУ-501.

Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В. Белорусский
национальный технический университет,
Минск, Беларусь

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ТИПИЧНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Технологическая оснастка для литья под давлением полимерных материалов, а также металлических литых изделий, является высокоточным изделием со сложным профилем рабочих поверхностей. Точность и постоянство размеров гравюры необходимы для многократного повторения форм и размеров готовых изделий. Кроме того, чистая без шероховатости и наливов материала поверхность гравюры непосредственно влияет на внешний вид готовой продукции.

Условия работы технологической оснастки для литья под давлением являются весьма сложными и включают такие основные виды разрушающего воздействия на рабочую поверхность, как высокая температура, чередование циклов нагрева и охлаждения, воздействие агрессивной окислительной среды – расплавленного литейного материала (полимеры) и продувочного газа, механическое воздействие, вибрационное воздействие и некоторые другие.

В этой связи рабочая поверхность деталей литейной оснастки должна обладать высокой термостойкостью, разгаростойкостью, в ряде случаев жаростойкостью и жаропрочностью, устойчивостью к циклическим термическим и механическим воздействиям (усталостная прочность), высокой износостойкостью поверхности, иметь низкую скалываемость защитного слоя при наличии последнего, коррозионной стойкостью (в условиях окислительной атмосферы), а также быть химически инертной по отношению к литейному материалу, иметь низкую шероховатость и низкий уровень адгезионного взаимодействия литейным материалом.

В процессе эксплуатации технологической оснастки появляются дефекты, приводящие к выводу пресс-формы из эксплуатации. К ним относятся: трещины, сетку разгара на формообразующих поверхностях, смятие в стыке вкладыш-вкладыш и стержень-вкладыш, изменение формы стержней, коробление, налипание и приваривание расплавленного материала на рабочие поверхности пресс-формы.

Результаты анализа научной литературы и производственных данных показывают, что доля дефектов во вкладышах и стержнях пресс-форм являются примерно следующей: трещины и сетка разгара на формообразующей поверхности – 32% и 4%; пригар и приваривание расплавленного материала на рабочей поверхности пресс-формы – 16% и 35%; смятие в стыке вкладыш-вкладыш – 18% и 5%; изменение размеров после устранения пригара – 7% и 30%; износ стержней – 13% и 13%; механические повреждения – 8% и 11% соответственно.

Один из наиболее часто образующихся дефектов – сетка трещин. Указанный дефект появляется на поверхности металлических изделий, работающих при циклически изменяющихся температурах и напряжениях. Вначале на частично окисленной рабочей поверхности пресс-формы появляются мелкие пересекающиеся между собой трещины, которые ориентированы в разных направлениях. С увеличением числа циклов теплосмен на поверхности образуются группы трещин и замкнутые петли, размер и рисунок которых разнообразны (рис. 1).

На основе производственных данных установлено, что общий срок эксплуатации пресс-форм состоит из двух периодов. Первый период длится до момента появления трещин термической усталости. Второй период определяется длительностью развития трещин термической усталости до критических размеров, при которых дальнейшая эксплуатация пресс-форм становится практически не-

возможной. При этом длительность первого периода значительно меньше второго. Поэтому поведение материалов на начальной стадии эксплуатации пресс-форм до появления трещин обычно оценивают «термостойкостью», а на стадии их дальнейшего развития до разгара – «разгаростойкостью».

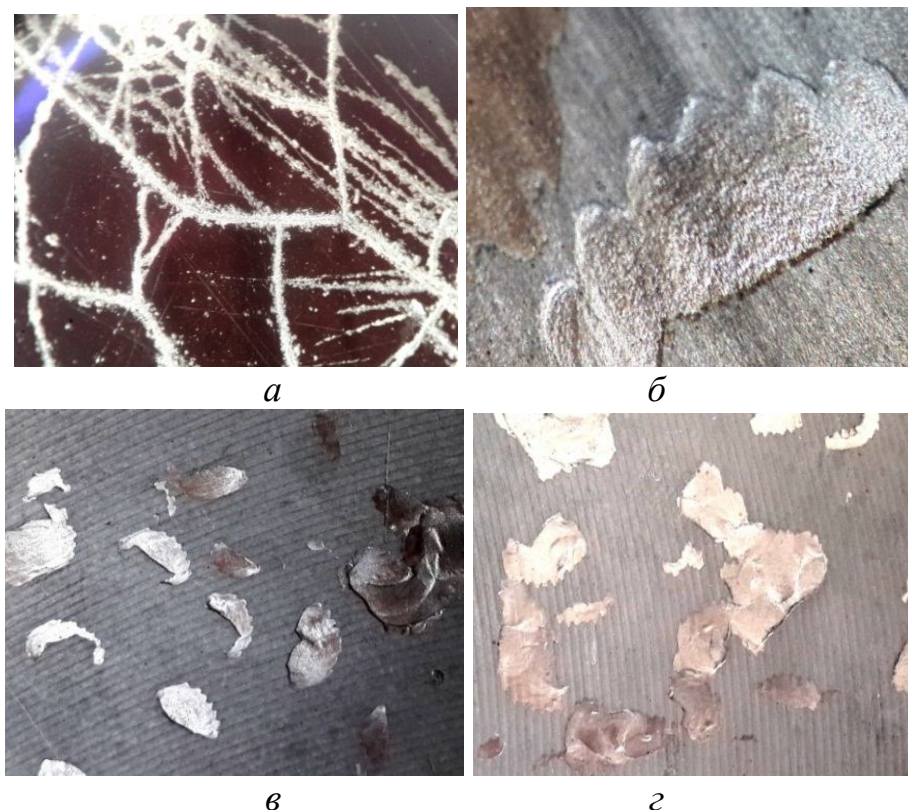


Рис. 1. Фотографии типичных повреждений стальной поверхности технологической оснастки (бинокулярный микроскоп, $\times 10$)
а – трещины; *б* – пригар; *в, г* – механические повреждения

Поверхность стальной оснастки (пресс-формы) контактирует с жидким полимером при высоких температурах то средой износа. При высоких температурах жидкий металл медленно диффундирует на молекулярном и атомном уровне в материал стальной оснастки, тем самым изменяя механические и химические, физические свойства. Интенсификация износа имеет скачкообразный характер после превышения допустимой температуры заливки литейного материала в пресс-форму.

Основные виды износа при этом:

1. Оформляющая полость формы после отливки 8000–10000 деталей из сплавов покрывается сеткой трещин (разгар), которая оставляет на отливке мелкий сетчатый узор. Из-за взаимодействия высоких температур выгорают углы на рабочих торцах выталкива-

телей, что приводит к образованию заусенцев на отливке, а также сетки трещин из-за термической усталости в результате циклически изменяющихся температур и напряжений.

2. Химическое взаимодействие металлов вкладыша и отливок проявляется в виде коррозии и различных химических реакций с образованием окислов, нитридов и других химических соединений, приводящих к изменению состава стали вкладышей пресс-форм на ее рабочей поверхности и изменению механических свойств, а также стойкости. В результате химического взаимодействия вкладышей пресс-форм с отливкой снижается их стойкость и чистота поверхности рабочей полости.

3. Физическое взаимодействие жидкого металла отливки с материалом вкладыша пресс-форм проявляется в виде диффузии, фазовых превращений, эрозии, кавитации, гидродинамического уноса, адсорбционно-поверхностных эффектов и др. Дислокации и вакансии перемещаются в сторону высоких температур и выходят на поверхность вкладышей пресс-форм, образуя мелкие поры, что приводит к возникновению шероховатости на поверхности отливок, снижая их чистоту.

Перспективными способами защиты поверхностей технологической оснастки для получения литых изделий являются: применение смазок, химико-термическая обработка (азотирование, низкотемпературное цианирование, сульфидирование и сульфоцианирование, фосфатирование), физико-химическая обработка (электролитическое хромирование, электролитическое никелирование), специальные виды обработки (поверхностная лазерная закалка, поверхностная плазменная обработка без оплавления, ультразвуковая обработка), а также нанесение защитных покрытий (вольфрамовые, молибденовые, керамические).

Разрушение пресс-формы начинается с ее рабочей поверхности, так как она испытывает самые высокие температуры, деформации, напряжения и химические взаимодействия с жидким металлом. Для увеличения стойкости и долговечности пресс-форм немаловажными являются некоторые технологические параметры: расположение летниковой системы, мягкие заливы, грамотный расчет размеров выталкивателей и др., что является актуальным при разработке способов упрочнения и согласования вносимых изменений в технологический процесс с отделами, конструирующими оснастку.

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Конструирование и производство изделий с газотермическими покрытиями (ГТП) требуют учета комплекса конструктивно-технологических факторов. С эксплуатационной точки зрения к ним следует отнести: действующие механические напряжения, нагрузки и деформации; рабочая температура и ее колебания; окружающая (рабочая) среда и ее коррозионное воздействие; требуемый срок службы (время или количество циклов) – долговечность и ожидаемые показатели надежности покрытия и защищаемой поверхности; изменение эксплуатационных затрат при использовании покрытия. С материаловедческой точки зрения это химический состав и микроструктура покрытия (фазовый состав, содержание оксидов, размер кристаллов, пористость), а также его толщина. Этим определяется потребность в надежных технологических процессах получения ГТП.

Формирование ГТП не является автономным процессом. Его эксплуатационные свойства определяются с учетом технологической наследственности, проявляемой на трех этапах получения покрытия на конкретном изделии: 1. предыдущих операций изготовления детали из основного материала и подготовки поверхности к напылению; 2. операциях газотермического напыления; 3 последующих операциях обработки покрытия и изделия в целом. Подготовка поверхности сказывается главным образом на прочности сцепления покрытий и усталостной прочности деталей. Свойства напыленных покрытий определяются в значительной мере исходным материалом, режимами и условиями напыления. Однако эти свойства могут быть существенно измениться при последующей обработке покрытий.

Анализ параметров газотермического напыления (ГТН) следует рассматривать поэтапно: преобразования энергии, материалов и газов в распылительном пистолете для создания напылительной струи; преобразования в напылительной струе, включая частицы исходного материала; взаимодействие частиц напыляемого материала с изделием; формирование единичных слоев и пятен напыления покрытия на поверхности изделия; формирование покрытия из единичных слоев и пятен напыления. Формирование единичных пя-

тен напыления характерно для импульсных методов напыления. По оценкам ряда авторов количество параметров ГТН, влияющих на свойства получаемых покрытий, достигает порядка 50-60, по нашим оценкам их более 100. Полагают, что решающее влияние на свойства ГТП оказывают три фактора: 1. процесс ГТН (на микроструктуру покрытия распределение толщины покрытия); 2. установочные приспособления и маскировка на распределение толщины покрытия; 3. порошок – на микроструктуру покрытия.

Технологическую систему ГТНП можно представить как технологическую систему (ТС), включающую следующие подсистемы: 1. установка газотермического напыления; 2. транспортно-загрузочное устройство; 3. напыляемое изделие; 4. камера с контролируемой средой и средствами дополнительного воздействия на формируемое покрытие. 5. система диагностики процесса напыления. 6. система управления ТС ГТН. Однако в настоящее время применяют более простые ТС ГТН. Рассмотрим это на примере плазменного дугового напыления на воздухе (АПН).

В простейшем случае ТС АПН включает в себя следующие подсистемы:

1. установка плазменного напыления.
2. транспортно-загрузочное устройство;
3. напыляемое изделие.

В установку плазменного напыления входят в качестве подсистем:

1. Плазматрон;
2. Система подачи плазмообразующего газа;
3. Источник питания;
4. Система охлаждения;
5. Система подачи порошка.

При системном анализе рассмотрим основные параметры, учитываемые при разработке технологии.

Со стороны плазматрона входными параметрами будут его конструктивные особенности (тип); форма, размеры и материалы анода и катода; их конструктивные особенности; величина их износа; размеры и расположение каналов охлаждения; износ плазматрона, состояние его элементов (загрязненность, засорение, отложения и пр.); подводимая мощность; ввод плазмообразующего газа и др.

Так, плазматроны, работающие на относительно низких напряжениях (40–90 В) и высоких токах (400–800 А) и выше, имеют основной недостаток – долгосрочную нестабильность параметров

плазмы, их пульсация, высокие токи, относительно низкий срок службы электродов, а тем самым существенные ограничения в возможностях процесса. Высоковольтные плазматроны обеспечивают существенно лучшую долговременную стабильность параметров плазмы и относительно долговременную стабильность скорости и температуры напыляемых частиц.

Со стороны системы подачи плазмообразующего газа входными параметрами являются: состав плазмообразующего газа (при использовании смесей соотношение компонентов); давление, температура и количество подаваемого газа, контроль расхода газов и его точность; чистота газов, их влажность. Со стороны источника питания входными параметрами являются ток, напряжение, пульсации. Со стороны системы охлаждения – вид охлаждающей среды (вода, газ и пр.), давление, температура на входе и выходе из плазматрона, расход охлаждающей среды и его контроль.

Со стороны системы подачи порошка к входным параметрам относятся: способ ввода порошка в плазменную струю; тип и характеристики порошка; транспортирующий газ, его расход; расход порошка и газа; одноточечный или многоточечный ввод порошка и их расположение и др. Стабильная оптимальная подача порошка и инжекция необходимы для получения стабильного качества покрытий, эффективности осаждения и распределения толщины покрытия. Имеется несколько причин, вызывающих непостоянство подачи и инжекции порошка. Они могут относиться к порошку, функционированию оборудования и настройке процесса. Напыляемый порошок является материалом, состояние которого может влиять на качество и стабильность процесса ГТН. Производитель порошка описывает его состав, технологию получения, размеры частиц и некоторые другие свойства. Но имеются характеристики, которые не специфицированы, но тем не менее должны контролироваться. Это прежде всего влажность и гомогенность порошка. Поэтому оправданы затраты на создание надлежащих условий для хранения и специальных устройств для одновременных сушки и перемешивания порошков. Классификация и требования к порошкам для ГТН рассмотрены в стандартах EN 1274 и ISO 14232, а для проволок, стержней и гибких шнуров в EN ISO 14919.

Имеется много проблем в обеспечении надежности систем дозирования и подачи порошка, которые требуют отдельного рассмотрения. Необходимо учитывать электростатическую зарядку, эффект

эрозионного износа, нестабильные транспортные свойства порошка и многие другие. Эффективность ГТН существенно зависит от ввода (инжекции) частиц порошка в напылительные струи (плазмы, продуктов горения и взрыва). Например, осевая внутренняя инъекция порошка при АПН может обеспечить лучшие условия обработки частиц в плазме, но исключительно затруднена для технической реализации. Возможно также закупоривание инжекторов подачи порошка, образование наслоений порошка на фронте сопла плазматрона

Отдельное рассмотрение надежности необходимо и для многих других подсистем и элементов ГТН – системы охлаждения, источника питания, подачи и контроля газов, транспортно-загрузочное устройство, диагностики процесса ГТН, дополнительных источников воздействия на формируемое покрытие, установочных приспособлений и пр.

Напыляемое изделие является также важной подсистемой ГТН. Его общие характеристики: масса, габаритные размеры, основной материал, класс детали, термическая и химико-термическая обработка, напыляемая поверхность, необходимость защиты смежных и сопрягаемых поверхностей и элементов, применяемая маскировка и пр. Напыляемая поверхность характеризуется такими факторами как: тип, размеры, наличие и тип конструктивных элементов, исходное состояние, относительное расположение и доступность для ГТНП, шероховатость, волнистость, макроотклонения формы, наличие специального рельефа, химсостав, строение, физико-механические свойства, чистота и др.

Выводы

1. Получение газотермических покрытий высокого качества требует надлежащего контроля за большим количеством параметров как непосредственно процесса напыления и используемых материалов, так и надежности работы основного и вспомогательного оборудования.

2. Необходима более глубокая разработка основ обеспечения надежности технологических процессов получения газотермических покрытий с учетом технологической наследственности на всех этапах его производства.

МОДЕЛЬ СХВАТЫВАНИЯ НАПЫЛЯЕМОЙ ЧАСТИЦЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТАЛИ

При газотермическом напылении покрытие формируется из огромного количества частиц исходного материала. Так, для формирования покрытия толщиной 0,5 мм может использоваться более 10^{10} – 10^{11} частиц на 1 м². Причем антикоррозионные свойства покрытия зависят главным образом от состава материала покрытия, а его термомеханические свойства не только от состава материала, но и в значительной мере от окончательного размера и формы кристаллов, межчастичных контактов и характера схватывания (сцепления) на поверхностях контакта. Поэтому для получения покрытий высокого качества с требуемыми химическими, физическими и механическими свойствами разработчики покрытий и технологии их получения должны предусмотреть формирование покрытий из частиц оптимального размера и формы и прочного сцепления между частицами и частиц с основным материалом изделия.

При соударении частиц с поверхностью образуются напыленные частицы (сплэты) разнообразной формы, которая сильно зависит от свойств материалов частиц и поверхности, состояния поверхности или предварительно напыленных слоев, а также от критических параметров процесса: температуры частиц, скорости частиц (главным образом ее нормальной составляющей) и температуры поверхности.

В современной теории газотермического напыления рассматривается взаимодействие напыляемых частиц с гладкой поверхностью основы или ее отдельными выступами. Известно также большое количество публикаций о влиянии шероховатости поверхности основы на прочность сцепления покрытий. Однако в настоящее время развивается теория дискретного контакта поверхностей с неровностями двух масштабных уровней – шероховатости (первый масштабный уровень) и субшероховатости (второй масштабный уровень). Причем площадь контакта, образованную суммой отдельных площадок контакта неровностей первого уровня, называют по установившейся терминологии фактической площадью контакта A_f ; площадь контакта, образо-

ванную суммой отдельных площадок контакта неровностей второго уровня – физической площадью контакта A_p [1].

Для отношения физической площади контакта к фактической получено, что

$$\eta_s = \frac{A_p}{A_r} = \left(\frac{tm_s^{\frac{1}{2v_s}} p_{cs}}{2^{\frac{1}{2v_s}} \Omega_s K_{3\sigma}} \right)^{\frac{2v_s}{2v_s+1}}$$

где индекс s означает принадлежность данного параметра к субшероховатости; tm_s – относительная опорная длина профиля субшероховатости на уровне средней линии; v_s – параметр аппроксимации кривой опорной поверхности субшероховатости; p_{cs} – контурное

давление для субшероховатости; $\Omega_s = \frac{4}{3\pi} E_s^* \sqrt{\frac{Rp_s}{r_s}}$; E_s^* – приведенный модуль упругости материалов контактирующих деталей на нано-уровне; Rp_s – наибольшая высота неровностей субшероховатости над уровнем средней линии; r_s – средний радиус закругления вершин неровностей субшероховатости; K_{3s} – коэффициент, зависящий от величины параметра v_s .

Контурное давление для субшероховатости $p_{cs} = p_r$, где $p_r = N/A_r$ – фактическое давление для шероховатости; N – нормальная нагрузка на контакт. Фактическое давление

$$p_r = \left(\frac{2\Omega^v K_3^{2v} p_n}{tm} \right)^{\frac{1}{1+2v}},$$

где параметры Ω , v , K_3 , tm аналогичны соответствующим параметрам субшероховатости;

$\Omega_s = \frac{4}{3\pi} E^* \sqrt{\frac{Rp}{r}}$; E^* – приведенный модуль упругости материалов контактирующих деталей на микроуровне; Rp – наибольшая высота неровностей шероховатости над уровнем средней линии; r – средний радиус закругления вершин неровностей шероховатости; $p_n = N/A_n$ – номинальное контактное давление; A_n – номинальная площадь контакта.

Величина отношения физической площади контакта к номинальной площади

$$\eta_p = \left(\frac{tm_s^{\frac{1}{2v_s}}}{2^{\frac{1}{2v}} \Omega_s K_{3s}} \right)^{\frac{2v_s}{2v_s+1}} \left(\frac{2\Omega^{2v} K_3^{2v} p_n}{tm} \right)^{\frac{2v_s}{(2v_s+1)(2v+1)}} \left(\frac{tm^{\frac{1}{2v}} p_n}{2^{\frac{1}{2v}} \Omega K_3} \right)^{\frac{2v}{2v+1}}$$

Распределение неровностей субшероховатости по высоте слабо влияет на величину относительной физической площади контакта. Физическая площадь контакта может составлять менее десятой доли фактической площади и менее 10^{-5} номинальной площади контакта [1]. Различие фактической и физической площадей контакта может достигать полутора порядков при малых значениях номинального давления, уменьшаясь с ростом последних.

Учет субшероховатости – неровностей наномасштабного уровня, присутствующих на поверхности детали или предварительно напыленных слоев покрытия наряду с шероховатостью – приводит к уточнению понятия «площадь контакта». Наряду с используемым в теории газотермического напыления понятием «фактическая площадь контакта напыленной частицы (сплэта) с поверхностью» следует использовать аналогичное понятие «физической площади контакта», под которой следует понимать суммарную площадь дискретных площадок контакта неровностей поверхности наномасштабного уровня с напыляемой частицей. Можно полагать, что именно на таких площадках контакта происходит схватывание взаимодействующих материалов.

Различие площадей контакта сказывается на процессах, протекающие которых происходит в точках непосредственного атомарного взаимодействия контактирующих поверхностей, в том числе схватывания. По мере увеличения скорости частиц возрастают давления, действующие в контакте частицы с поверхностью в момент удара и одновременно увеличивается физическая площадь их контакта. Этим можно объяснить повышенную прочность сцепления покрытий при высокоскоростных методах напыления.

Литература: 1. Измайлов В.В., М.В. Новоселова М.В. О фактической и физической площадях дискретного контакта // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. – Вып. 8. – С.4–9.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ (ВІДНОВЛЕННЯ) КІЛЕЦЬ ГОРЛОВИХ В УМОВАХ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА СКЛОЗАВОДІВ

Для підприємств, що виробляють скляні пляшки для зберігання рідких продуктів харчування, медичних препаратів, хімічних речовин тощо, актуальною залишається проблема виготовлення та відновлення в умовах власної ремонтної служби кілець горлових, за допомогою яких формується горлечко пляшки. Основною причиною такого становища є низький рівень технічного оснащення ремонтної бази та відсутність сучасного обладнання на цих підприємствах.

Однією з простих і доступних в умовах індивідуального виробництва технологій виготовлення (відновлення) кілець горлових (рис. 1) є технологія, що передбачає механічну обробку двох заготовок (двох півкілець з відновленими наплавкою або газотермічним напиленням поверхнями, що були зношеними), які по контуру мають форму розрізаного навпіл у поздовжньому напрямку циліндра.



Рис. 1. Кільце горлове (в розібраному стані)

Оскільки кільце горлове являє собою поєднання по лінії роз'єму двох окремих півкілець, одним із основних його конструктивних і функціональних елементів є два протилежно розташовані пази, завдяки яким відбувається захват і фіксація кільця механізмом склоформувальної машини (рис. 2). Найскладніше при виготовленні (відновленні) кільця горлового обробляти саме ці пази, дві симетричні по відношенню до лінії роз'єму половини яких розташовуються у суміжних півкільцях. (При ремонті форм для отримання скловиробів зношені поверхні пазів для захвату та фіксації кільця також наплавляються або напилюються і тому підлягають механічній обробці).

Пропонується наступний технологічний маршрут виготовлення (механіч-ної обробки після наплавки або напилення зношених поверхонь при віднов-ленні) кільця горлового:

1. Обробка площин роз'єму на заготовках двох півкілець окремо.
2. Обробка паза для фіксації положення півкільця при суміщенні двох пів-кілець на одному півкільці (див. рис. 2).
3. Обробка виступу для фіксації положення півкільця при суміщенні двох півкілець на суміжному півкільці (див. рис. 2).
4. Обробка торців півкілець (на кожному окремо).
5. Обробка формувального отвору та торців кільця горлового (у зібраному стані, тобто, при суміщених півкільцях).



Рис. 2. Кільце горлове в зібраному стані (внизу – паз для захвату та фіксації кільця механізмом склоформувальної машини; вверху – фіксація положення суміщених півкілець за схемою «паз-виступ»)

6. Остаточна обробка площин роз'єму двох півкілець окремо (із застосуванням плоскопаралельних пластин при установці півкілець).

7. Слюсарна операція – підгонка паза та виступу на двох півкільцях.

8. Обробка формувального отвору (формувальної порожнини) кільця горлового (в зібраному стані).

9. Фрезерування пазів (розмір – $1/2$ загальної довжини паза) для захвату та фіксації кільця (окремо на кожному з суміжних півкілець).

Запропонована технологія дозволяє виробляти (відновлювати) кільця горлові в умовах ремонтного виробництва склозаводів із дотриманням технічних вимог до виготов-

лення, зокрема, пазів для захвату та фіксації (а ці вимоги, у середньому, наступні: точність розміру довжини пазів – $\pm 0,5$ мм; точність розміру глибини пазів – $\pm IT 14/2$; точність розміру віддалей від площини роз'єму до дна протилежних пазів – $\pm IT 14/2$; шорсткість поверхонь пазів – $Ra 6,3$) на рівні, що, в основному, забезпечує необхідні техніко-економічні показники виробництва та дає можливість отримати вихід продукції – скляних пляшок – із кількістю браку, що не перевершує допустимі межі.

*Шіхаб Т.А. Middle Technical University, Engineering
Technical College of Baghdad, Baghdad, Iraq*

Шлапак Л.С., Присяжнюк П.М., Цап І. В.

*Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна*

КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{--Cu60Ni20Mn20}$ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

Енергетична безпека держави значною мірою забезпечується високим рівнем надійності обладнання для транспортування та переробки нафти та газу. Оскільки обладнання, що використовується при цьому є здебільшого імпортом то суттєві витрати приносить заміна його деталей. Прикладом такого обладнання є відцентрові насоси, у яких надійність роботи суттєво залежить від рівня фізико-механічних характеристик матеріалів, що використовуються для пар тертя, а саме кілець торцевого ущільнення. Одним із найбільш поширених матеріалів для їх виготовлення є кераміка на основі карбіду кремнію, для якої характерна висока твердість та корозійна стійкість. Однак в умовах виникнення сухого тертя відбувається руйнування кілець через терморозтріскування [1], що спричинено низьким рівнем тріщиностійкості кераміки. Для вирішення вказаної проблеми запропоновано використовувати у парі тертя металокерамічний матеріал який складається із 60%об. Cr_3C_2 і металевої зв'язки (решта). Як сплав зв'язку було використано дисперсно-твердіючий мідно-нікель-марганцевий сплав марки МНМц 60-20-20 з огляду на його високий рівень в'язкості міцності та корозійної стійкості. Кільця виготовляли методом порошкової металургії шляхом просочування попередньо сформованих карбідних каркасів розплавом у вакуумі за температури 1150 °С. У результаті було отримано кільця, структура матеріалу яких представляє зерна карбідної фази розмірами 4–6 мкм, які рівномірно розподілені у металевій матриці (рис. 1).

Стендові випробування експлуатаційних характеристик кілець з метою визначення їх стійкості в умовах сухого тертя, які відповідають етапу запуску насоса при недостатній кількості або відсутності робочого середовища проводили на машині СМЦ-2. Металокерамічне кільце 1 (рис. 2) встановлювали нерухомо у корпус 3, а керамічне 4 на проміжну втулку, яка кріпиться на валу. Зібране торцеве ущільнення монтували на валу машини.

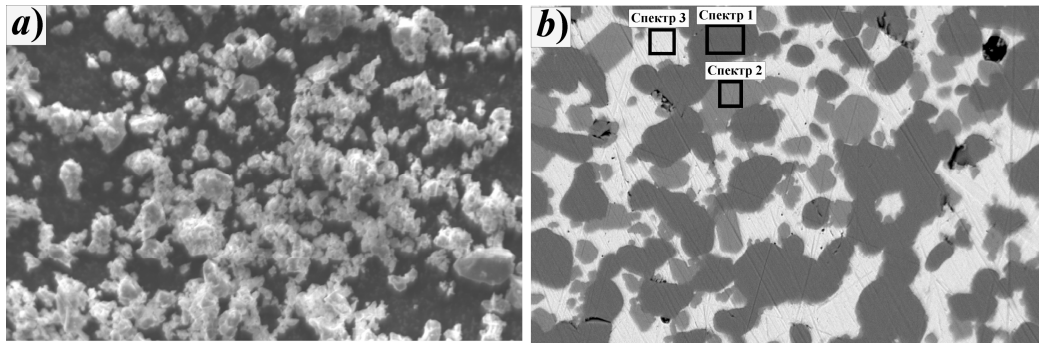


Рис. 1. Морфологія частинок вихідного порошку Cr_3C_2 (а) ($\times 1000$) та структура композиту $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Cu60Ni20Mn20}$ ($\times 1000$) (б)

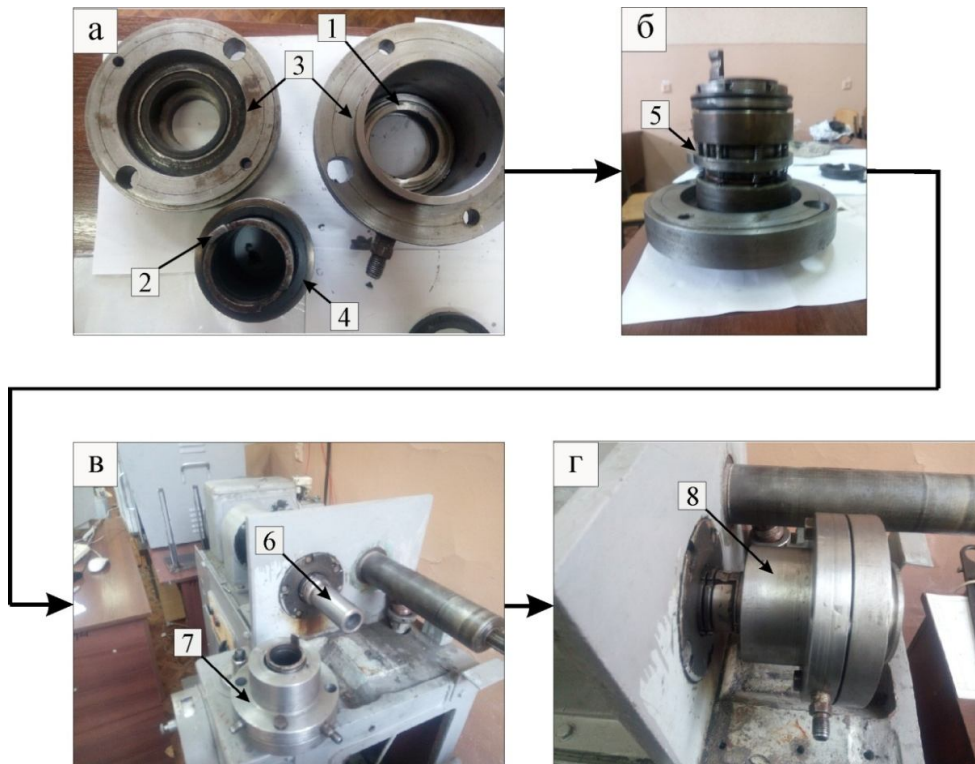


Рис. 2. Етапи монтажу торцевого ущільнення на стенд для досліджень:
а – встановлення кільця у корпус; *б* – встановлення пружних елементів; *в* – закріплення кільця у корпусі; *г* – монтаж торцевого ущільнення на вал машини тертя СМЦ-2; 1 – металокерамічне кільце; 2 – проміжна втулка; 3 – корпус; 4 – керамічне кільце; 5 – пружні елементи; 6 – вал машини тертя СМЦ-2; 7 – зібране торцеве ущільнення; 8 – торцеве ущільнення змонтоване на стенді

Після триботехнічних випробувань протягом 12 год у режимі сухого тертя кільця не зруйнувались, а на їх робочих поверхнях було не виявлено тріщин. Таким чином, кільця із запропонованого матеріалу рекомендується застосовувати, як аналог керамічним в умовах експлуатації, де є високий ризик виникнення сухого тертя через відсутність у зоні контакту робочого середовища.

Література

1. Голубев А.И. Торцовые уплотнения вращающихся валов. – М. : Машиностроение, 1974. – 212 с

ФИНИШНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ

Наплавка стальных прокатных валков для их стойкости в настоящее время широко применяется, практически на всех металлургических предприятиях. Современные методы механизированной наплавки позволяют получить валок с достаточно вязкой и прочной сердцевиной, хорошо сопротивляющейся поломкам и износостойкой поверхностью.

В большинстве случаев, для износостойкой электродуговой наплавки прокатных валков применяют проволоку марок: Нп-30ХГСА, ПП-3Х2В8 и ПП-25Х5ФМС и в небольших количествах используют также ленту марки Нл-65Г. Электродная проволока Нп-30ХГСА применяется для восстановления изношенных стальных валков, проволока ПП-3Х2В8 значительно повышает износостойкость рабочего слоя и стойкость их в целом. Наплавленный металл высокой стойкости получают с помощью порошковой проволоки ПП-25Х5ФМС. Наплавка электродной лентой под флюсом приобретает все большее распространение, так как при ее использовании обеспечивается высокая производительность процесса, малая глубина проплавления основного металла и надежность сваривания.

В зависимости от твердости наплавленного металла ($> \text{HRC } 35\text{--}40$) и величины припуска обработку поверхности прокатных валков восстановленных наплавкой выполняют точением или шлифованием. Сначала при пониженных режимах резания проводят черновую обработку, а затем финишную. Учитывая пониженную теплопроводность наплавов и возможность перегрева покрытия, вызывающего изменение его свойств, обработка валков шлифованием затруднена, и может привести к снижению микротвердости покрытия и возникновению шлифовочных трещин не только в покрытии, но и в основном металле, что приводит к скалыванию наплавленного слоя. Шлифовочные трещины особенно опасны, так как они являются концентраторами напряжений и снижают усталостную прочность восстановленных валков. Поэтому, для таких материалов применяют технологию точения лезвийными инструментами из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ).

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

Максимально возможное использование материала режущей пластины, постоянство положения вершины резца на линии центров токарного станка и высокая надежность крепления режущей пластины в инструменте при финишном точении прокатных валков восстановленных наплавкой, достигается с применением технологичной сборной конструкции резца с рифлеными поверхностями вставки. У резца контактные поверхности вставки с продольным глухим пазом под винт имеют соответствующие рифленые сопряжения в продольном направлении с державкой и поперечном направлении с прихватом Г-образной формы, причем державка выполнена с поперечным открытым пазом под сопряжения с опорой прихвата.

Благодаря рифленным сопряжениям вставки с державкой и прихватом, резец обладает возможностью регулируемого выдвижения вставки после многократной переточки режущей пластины. Надежность ее крепления способствует повышению ресурса инструмента из ПСТМ и качества поверхностного слоя обработанной поверхности прокатного валка восстановленного наплавкой.

Контактное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов в процессе резания сопровождается комплексом силовых, тепловых, химических и других явлений. При этом на поверхности изделия формируется определенная совокупность макро- и микронеровностей, а в поверхностных слоях обрабатываемого материала происходят процессы упрочнения-разупрочнения, структурно-фазовые превращения и другие явления, приобретающие особое значение при обеспечении долговечности и работоспособности валков, работающих в условиях контактного нагружения.

Высота микронеровностей, сформированная в результате финишной обработки лезвийным инструментом из ПСТМ покрытий прокатных валков восстановленных наплавкой, определяется с уче-

том отклонения фактической высоты неровностей от расчетной (случайная составляющая), отражающая изменение высоты неровностей в результате упругого восстановления поверхности среза, пластической деформации в зоне стружкообразования, среза вершин неровностей сходящей стружки, трения на задней поверхности инструмента, износа режущей кромки инструмента, вибраций в технологической системе, наличия дефектов, в частности, пористости в обрабатываемом материале и др.

В результате проведенных исследований финишной технологии обработки прокатных валков восстановленных наплавкой разработана сборная конструкция токарных резцов со сменным блоком из ПСТМ, обеспечивающих высокое качество обтачиваемой поверхности. Использование надежного крепления инструментов с рифлеными поверхностями вставки при обработке таких деталей позволяет устранить недостатки поверхности, связанные с вредным влиянием наследуемых технологических факторов покрытия. Развитие механической технологии обработки инструментом из ПСТМ прокатных валов гарантирует резкое увеличение производительности и снижение себестоимости их восстановления наплавкой.

Добровольска Л. Н., Куць Н.Г. Собчук Д.С.
Луцкий национальный технический университет,
Луцк, Украина

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Основными источниками нарушения технико-эксплуатационных качеств машин являются рабочие и вредные процессы. Рабочие процессы в машинах протекают в период их функционирования, а вредные процессы – в период всего времени существования. Вредные процессы могут происходить под действием внешних условий и под влиянием погрешностей в самой машине. Их развитие ведет к росту параметра потока отказов и снижению надежности машин.

Полностью устранить вредные процессы возможным не представляется, однако замедлить интенсивность их проявления необхо-

димо. В процессе эксплуатации это достигается проведением технического обслуживания (ТО), малыми, текущими, а при необходимости и капитальными ремонтами (КР). Благодаря этому протекание вредных процессов снижается, а рабочих – проявляется [1] в допустимых пределах.

Потери всеми видами машин своих первоначальных свойств обязывают создавать и эффективно использовать системы восстановления качественных показателей машин. В основу таких систем положена организация ТО и ремонта машин (РМ). Эффективность проведения ТО и РМ требует улучшения, так как выполняется, зачастую, некачественно и с большими затратами. Такое положение с поддержанием машин в требуемом техническом состоянии, на наш взгляд, объясняется отсутствием научно обоснованной системы технологической подготовки (ТП) выполнения технологических процессов ТО и РМ.

Проблемы адаптации единой система технологической подготовки производства (ЕСТПП) могут быть решены на базе разработки научных основ модульной технологической подготовки. Использование модульного принципа в ЕСТПП для ремонтно-обслуживающего производства представляется целесообразным по разным причинам. В основе решения задач научно-технического прогресса и выпуска всех видов продукции (способом изготовления или ремонта) лежит себестоимость, а одним из основных факторов снижения себестоимости является унификация и стандартизация.

Анализ конструкций современных машин показывает, что минимальная себестоимость продукции достигается там, где уровень унификации и стандартизации конструкторской и технологической общностей 85–90% и больше. С учетом изложенного и определений модуля и модульного принципа в работах [2, 3], а также научно-технической информации о преимуществах модулей как элемента высшей степени унификации следует признать, что формирование ТП ремонтно-обслуживающего производства наиболее целесообразно на базе модульного принципа, основными этапами которого являются: – подготовка ремонтно-обслуживающего производства для выявления технического состояния машин; – модульное проектирование технологических процессов (ПТП) дефектовочно-разборочных работ; – модульное ПТП выполнения моечно-очистных операций; – модульное ПТП восстановления деталей машин; – модульное ПТП сборки и технического обслуживания машин; – модульное ПТП наладочно-

регулюючих робіт і обкатки машин; – модульне ПТП і обробка на технологічність нестандартного обладнання; – організація управління процесом модульної технологічної підготовки виконання ремонтно-обслуговуючих робіт.

Такий підхід випливає з визначення – комплексна стандартизація і уніфікація як основа модульного принципу є одним із шляхів зниження витрат при вирішенні значущої гами розв'язуваних завдань.

Таким чином, технологічна підготовка виконання ремонтно-обслуговуючих робіт, заснована на модульному принципі, відкриває можливості: – проектування науково обґрунтованих технологічних процесів на всі види ТО і РМ; – значущого зниження кількості нестандартного обладнання шляхом його заміни багатством уніфікованих модулів; – зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування гаражного обладнання; – впровадження техніко-обґрунтованих нормативів на ТО і РМ.

Література

1. Шадрічев В.А. Основи технології виробництва і ремонт автомобілів: підручник для вузів. – Л. : Машинобудування, 1976. – 338 с.
2. Базров Б. М. Модульна технологія в машинобудуванні. – М.: Машинобудування, 2001. – 368 с.
3. Васильєв В. М. Модульний принцип формування техніки. – М. Видавництво стандартів, 1989. – 238 с.

Євтифєєв С.Л., Крушельницький Д.О. Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

БАГАТОКОМПОНЕНТНИЙ СПЛАВ З АНТИФРИКЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

У розробці нового сплаву застосовано кардинальний підхід до матеріалів пар тертя кулачкових механізмів на базі системи *Fe-Si*, доменного феросиліцію із легуючими домішками [1].

Розроблено декілька сплавів для підвищення строку служби пар тертя, наприклад розподільчого валу, важелів приводу та клапанів,

котрі швидко зношувалися у процесі роботи. На основі цих розробок запропоновано новий сплав.

Сплав є багатокомпонентним, бо має у своєму складі чотири компоненти, та носить назву «антифрикційний сплав на основі $Fe-Si-Cu-C$ ». Сам сплав базується на зворотному принципі Шарпі. Принцип Шарпі [2, 3] – основне правило наявності структурних фаз у сплаві, яке забезпечує матеріалу високі антифрикційні та зносостійкі властивості, а також його міцність, в'язкість та інші показники. По принципу Шарпі – найбільш тверді структурні складові повинні розташовуватися у вигляді ізольованих одне від одного включень, а найбільш в'язкі – утворювати суцільну матрицю. По принципу Шарпі працюють усім відомі баббіти.

У процесі тертя відбувається знос м'яких фаз, pojawiaються пори на поверхні, які дозволяють отримати ефект утримання змазки на поверхні шару сплаву, що важливо у процесі експлуатації, особливо у моменті «пуск-зупинка», коли тиск олії для змащування поверхонь тертя не достатній.

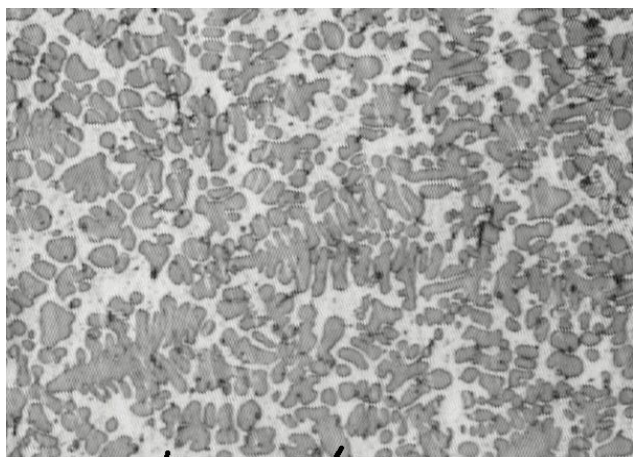


Рис. 1. Мікроструктура сплаву:
а – включення міді пертектоїдної структури; б – матриця із феросиліцію насичена вуглецем

Випробування проводилось з використанням роликів $\varnothing 50$ мм зі сталі 40Х із термічною обробкою: загартування + низький відпуск, із кінцевою твердістю поверхні 53–55 HRC. На ролик методом дифузійного силіціювання сталей на установці СВЧ моделі 063/440 був нанесений шар розробленого антифрикційного сплаву.

Сплав має композитну структуру (рис. 1), яка складається з твердої матриці із феросиліцію та м'яких включень міді [4]. Зносостійкі сплави на основі феросиліцію із додаванням таких легуючих елементів як чавун та структурно вільні, ізольовані одне від одного включення міді, до сьогоднішнього дня, не розглядалися як матеріали для виготовлення зносостійких, антифрикційних сплавів, але наші дослідження показують перспективу використання таких матеріалів.

За результатами випробування трьох зразків із різним складом було виявлено найбільш перспективне співвідношення складових

сплаву для отримання кращих результатів на машині тертя. Створений антифрикційний, композитний, зносостійкий сплав не містить у собі дорогих та дефіцитних складових, вартість виготовлення та нанесення сплаву на робочу поверхню виробу, відносно строку служби, є економічно вигідною, тому, що строк служби деталі із покриттям зростає у 1,5–2,0 рази.

Література

1. Разработка износостойкого сплава на основе системы / С.Л. Евтифеев, Д.О. Крушельницкий // Високі технології в машинобудуванні. – Харків : Вид-во НТУ "ХП", 2017. – Вип. 1 (27). – С. 48–58.
2. Хебды М. Трение изнашивание и смазка. – М. : Машиностроение, Варшава, 1989. – Т.1; 1990. – Т.2; 1992. – 1992.
3. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. – М. : Машиностроение, 1976. – 152 с.
4. Шанк Ф.А. Структуры двойных сплавов. – М. : Metallurgiya, 1973. – 760 с.

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

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины совместно с АО «Мотор Сич» проведена опытно-промышленная проверка технологии сварки трением (СТ) жаропрочных никелевых сплавов ВЖЛ12У и ХН73МБТЮ (ЭИ698), в том числе технологии СТ с использованием переходных элементов в виде фольг и компактных прослоек с микро- и нанокристаллической структурой.

При использовании технологии конвенционной СТ сплавов ВЖЛ12У и ЭИ698ВД показатели длительной прочности соединений при температуре испытаний 750 °С не соответствовали нормативным требованиям для основного металла обоих сплавов. Как установлено металлографическими исследованиями, снижение показателей жаро-

прочности обусловлено формированием в процессе СТ со стороны сплава ВЖЛ12У переходного слоя переменного состава и участков химической неоднородности с повышенным содержанием карбидообразующих элементов (Ti, Nb). При механических испытаниях сварные соединения разрушались по зоне контакта, на поверхности изломов обнаруживались локальные пленочные дефекты. Относительная площадь дефектов увеличивалась при использовании заготовок сплава ВЖЛ12У со структурной неоднородностью (не прошедших предварительную термическую обработку – гомогенизацию).

При отработке технологии комбинированной СТ использовали два вида переходных элементов – нанослойные фольги (НФ) системы Ni-Cr, Ni-Al, Ti-Al, Ni-NbC, Ti-Co, Ti-Ni толщиной 50–200 мкм и компактные прослойки из никелевого сплава, упрочненного нанодисперсными выделениями интерметаллидов $Ni_3(Al, Ti, Nb)$, карбидов (Ti, Nb)C микронного размера и частицами вольфрама. Относительное количество наноразмерной упрочняющей фазы в металле компактной прослойки составляло 25–30%. Фольги, изготовленные методом электроннолучевого испарения и осаждения из паровой фазы в вакууме, размещали между свариваемыми заготовками перед началом процесса СТ. Переходной элемент в виде компактной прослойки предварительно приваривали к торцу заготовки сплава ВЖЛ12У.

Опытные сварки образцов проводили на установке СТ-120. Параметры режима СТ устанавливали в пределах: окружная скорость $v = 1,0\text{--}1,5$ м/с, давление при нагреве $P_n = 150\text{--}250$ МПа, давление проковки $P_{пр} = 250\text{--}500$ МПа, время нагрева $t_n = 5\text{--}10$ с, время проковки $t_{пр} = 7$ с, время торможения вращения $t_t = 0,2\text{--}3,0$ с. Оптимальное сочетание технологических параметров устанавливали таким образом, чтобы обеспечить заданную скорость деформации на стадиях нагрева, торможения вращения и проковки.

На основании проведенного комплекса металлографических исследований и механических испытаний разработана технология комбинированной СТ с управляемой деформацией, обеспечивающая формирование качественных сварных соединений сплавов ВЖЛ12У и ХН73МБТЮ без каких-либо дефектов (пор, трещин, непроваров, оксидных пленок и участков химической неоднородности). При механических испытаниях на разрыв и загиб при температуре 20 °С все сварные стыки разрушились по основному металлу (ОМ) сплава ВЖЛ12У. Таким образом, свойства прочности и пластичности метал-

ла в зоне соединения и зоне термического влияния при температуре $T_{\text{исп}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышают показатели ОМ сплава ВЖЛ12У.

При испытаниях сварных соединений на длительную прочность при температуре $T_{\text{исп}} = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нагрузке $\sigma = 412\text{ МПа}$ (партия образцов 10 шт.) все образцы разрушились по ОМ сплава ХН73МБТЮ при времени выдержки $T = 78\text{--}131\text{ ч.}$ (нормативные требования – 50 ч.).

Установлено, что наиболее высокие показатели прочности сварных изделий достигаются при использовании компактных прослоек из никелевого сплава, упрочненного нанодисперсными частицами интерметаллидов. При испытаниях на длительную прочность при температуре $T_{\text{исп}} = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ и нагрузке $\sigma = 412\text{ МПа}$ (партия образцов в количестве 5 шт.) все образцы разрушились по ОМ сплава ЭИ698 при времени выдержки $T = 89^{30}, 88^{20}, 102^{30}, 106^{40}, 120^{00}\text{ ч.}$ Таким образом, свойства длительной прочности металла в зоне соединения и зоне термического влияния при температуре $T_{\text{исп}} = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ превышают нормативные показатели для основного металла сплава ХН73МБТЮ.

Кроме того, на образцах сплавов ВЖЛ12У и ХН73МБТЮ ($\varnothing 13\text{ мм}$) была проведена опытная проверка технологии контактной стыковой сварки (КСС) сопротивлением с использованием НФ различного состава. Установлено, что при КСС с использованием НФ системы Ti-Co достигается равнопрочность сварных соединений с основным металлом сплава ВЖЛ12У при $T_{\text{исп}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подтверждена актуальность продолжения работ в этом направлении с проведением испытаний на длительную и циклическую прочность.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭДУАРД ВЯЧЕСЛАВОВИЧ РЫЖОВ	3
<i>Агеев М.С., Лопата А.В., Ляшенко Б.А., Лопата Л.А.</i> РОЛЬ ТЕОРИЙ АДГЕЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ	6
<i>Антонюк В.С., Медяник В.В., Білокін С.О., Бондаренко Ю.Ю., Бондаренко М.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ НА П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІЙ КЕРАМІЦІ ПІСЛЯ ЇХ МОДИФІКУВАННІ ЕЛЕКТРОННИМ ПОТОКОМ	10
<i>Антонюк В.С., Яценко І.В., Кириченко О.В., Ващенко В.А.</i> ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ КЕРАМІК	13
<i>Ахундова П.Э.</i> ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛА ТРЕНИЯ С МИНИМАЛЬНЫМ КОНТАКТНЫМ ДАВЛЕНИЕМ	16
<i>Барабаш М.Ю., Влайков Г.Г., Гринько Д.О., Колесніченко А.А., Литвин Р.В., Сезоненко А.Ю., Рябов Л.В., Мартинчук В.Є.</i> ЗАРОДКОУТВОРЕННЯ НАНОЧАСТИНОК СУЛЬФІДУ КАДМІЮ НА ПОВЕРХНІ ЕЛЕКТРЕТНОГО ТЕМПЛАТУ	18
<i>Беженар Н. П., Девин Л.Н., Стахнив Н.Е., Рычев С. В., Романенко Я.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ cBN–Al	21
<i>Бондаренко Ю.К., Логінова Ю.В., Ковальчук О.В., Артюх К.О.</i> ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ – КЛЮЧ ДО СТВОРЕННЯ ЗДОРОВОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ В ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	23
<i>Бородавко В.И., Пынькин А.М., Хейфец М.Л., Семененко Д.В., Грецкий Н.Л., Антончик К.А.</i> МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПРИВОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	28

<i>Бородавко В.И., Пынькин А.М., Хейфец М.Л., Сенють В.Т., Грецкий Н.Л., Антончик К.А.</i> СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАСКРОЙНОМ ОБОРУДОВАНИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	32
<i>Бугаенко А.А.</i> ОПЫТ РАБОТЫ ЧП "ВЕСОВАЯ КОМПАНИЯ МІКА" НА МИРОВОМ РЫНКЕ	34
<i>Бурлаков В.И.</i> ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	36
<i>Варюхно В.В., Довгаль А.Г., Данилейко О.В., Евсюков Е.Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИПРОБУВАНЬ СІДЕЛ КЛАПАНІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	38
<i>Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НОЖЕ КУТТЕРА ПРИ ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ	43
<i>Волков А.А., Лёвушкина Н.В., Нигметзянов Р.И., Перекрестова В.А.</i> УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	46
<i>Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Степанов М.С., Степанова И.И.</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДУГОВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АНОДНО-ИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ КОРПУСОВ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ	48
<i>Дерев'янченко О.Г., Євтіфєєв С.Л., Кірієнко К.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ СТРУКТУР МАТЕРІАЛІВ	51
<i>Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Бояринова В.Г.</i> ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА С ОСНОВАМИ ЭКОЛОГИИ	53
<i>Домуладжанов И.Х., Хошимов А., Тешабаев А.М.</i> НИТРАТЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	56

<i>Дудукалов Ю.В., Чигрин А.О., Старусев І.С.</i> ТЕХНОЛОГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В ІНФОРМАЦІЙНО ОРІЄНТОВАНОМУ АВТОРЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	61
<i>Евтифеев С.Л., Омельченко Е.И.</i> ЭКСПЕРТИЗА ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ВАЛОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА	63
<i>Ермишкин В.А., Соловьева Ю.Б., Минина Н.А., Кулагин С.П., Томенко А.К.</i> ЭФФЕКТ СНИЖЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА В95 С ПОМОЩЬЮ ПОКРЫТИЯ	68
<i>Иванов А.А., Присяжнюк П.Н., Луцак Д.Л., Луцак Л.Д., Сенютович А.Р.</i> ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОКРЫТИЯ СИСТЕМЫ Fe-Ti-B-C-Cr	70
<i>Клименко С.А., Манохин А.С., Копейкина М.Ю., Клименко С.Ан.</i> ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С PсVN	72
<i>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ, ОБРОБЛЕНИХ ІМПУЛЬСНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ, ЗА ДОПОМОГОЮ ФОРСОВАНИХ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ	75
<i>Корешков В.Н., Чуйко М.Г., Хейфец И.М.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕЧНЕЙ И РЕГЛАМЕНТОВ ОБРАБОТКИ ПРИ НЕВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	77
<i>Кравчук Л.В., Буйских К.П., Задворный Е.А., Феофентов Н.Н., Киселевская С.Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И РЕСУРС ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН	80
<i>Кривошеков В.Е.</i> ОДА ОПЫТНЫМ РАБОТНИКАМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НА ТРАНСПОРТЕ	82
<i>Маленко П.И., Релмасира К.Д., Леонов А.Ю., Костыгова О.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАЛЕЧИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОР И ТРЕЩИН В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ НИКОТРИРОВАННЫХ ТЕПЛОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ С РЕСУРСНЫМ СМАЗЫВАНИЕМ	84

<i>Максимова С.В., Воронов В.В., Ковальчук П.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ПРИ ПАЙКЕ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	86
<i>Мановицкий А.С.</i> ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА	89
<i>Манохин А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Береснев В.М.</i> НАНОСТРУКТУРНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ ПКНБ	91
<i>Молчанов В.Ф.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН В ДЕФОРМІВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ФІЛЬТРУВАЛЬНОЇ ПЕРЕГОРОДКИ	94
<i>Насакина Е.О., Севостьянов М.А., Колмаков А.Г., Ильющенко А.Ф., Хейфец М.Л., Витязь П.А., Клименко С.А.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «НИКЕЛИД ТИТАНА – ТАНТАЛ – БИОДЕГРАДИРУЕМЫЙ ПОЛИМЕР»	97
<i>Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Стецюк М.О., Сергієнко Б.Б.</i> ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРА МТЗ-50	103
<i>Олійник Н.О., Базалій Г.А., Ільницька Г.Д., Марініч М.А.</i> МОДИФІКОВАНІ НАНОПОРОШКИ АЛМАЗУ ДЛЯ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ	105
<i>Орлов Л.Н, Голякевич А.А., Упырь В.Н., Новицкий В.Н.</i> ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ПРОИЗВОДСТВА ООО «ТМ.ВЕЛТЕК» ДЛЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ ПРИ АБРАЗИВНОМ ИЗНОСЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	107
<i>Pihl T., Koitmäe-Pihl A.</i> SELECTIVE PLATING PROCESS FOR RENOVATION BIG MACHINE PARTS	111
<i>Пащенко Е.А., Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Шатохин В.В., Зайцева И.Н., Пасичный О.О., Смоквина В.В.</i> ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ С ДОБАВКАМИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПОКРЫТИЙ ШЛИФПОРОШКОВ СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА АС20 НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА	116

<i>Петасюк Г.А., Петасюк О.У.</i> ІНЖЕНЕРІЯ ПОКРИТТЯ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН МЕТАЛІЗОВАНИХ ІШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ	119
<i>Погудин С.А., Сивцев Н.С., Бажин А.Г.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ	122
<i>Посвятенко Е.К., Ляшенко Б.А., Посвятенко Н.І.</i> МОДИФІКУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ ТЕРМІЧНИМИ МЕТОДАМИ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ	126
<i>Проц Л.А., Лавриненко В.И., Молчанов В.Ф., Солод В.Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКУ ВІРОГІДНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ НА ФІНІШНОМУ ФОРМОУТВОРЕННІ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ СПЛАВУ БОРОСИЛКАТНОГО СКЛА З ВКРАПЛЕННЯМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ НАНОКРИСТАЛІВ $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$	130
<i>Рощупкин В.В., Ляховицкий М.М., Покрасин М.А., Минина Н.А., Кудрявцев Е.М.</i> МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ	134
<i>Рощупкин В.В., Терентьев В.Ф., Пенкин А.Г., Покрасин М.А., Пенкин М.А.</i> АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИТИКИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ТРИП-СТАЛИ НА ПЛОЩАДКЕ ТЕКУЧЕСТИ И СТАДИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ	138
<i>Рябченко С.В.</i> СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОСЛЕ ІШЛІФОВАНИЯ КРУГАМИ ИЗ КНБ	144
<i>Сундуков С.К., Сухов А.В., Фатюхин Д.С.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ МОЮЩЕГО СРЕДСТВА ПРИ МОЙКЕ АВТОМОБИЛЯ	146
<i>Титаренко В.И., Лантух В.Н., Парамонов В.А., Петренко А.В.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ УСТАНОВКА ИЗРМ-5 – БОЛЬШИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ НАПЛАВКИ МАЛО И СРЕДНЕГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ	148
<i>Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В.</i> УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ТИПИЧНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ	154

<i>Харламов Ю.А.</i> НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	158
<i>Харламов Ю.А., Харламов М.Ю.</i> МОДЕЛЬ СХВАТЫВАНИЯ НАПЫЛЯЕМОЙ ЧАСТИЦЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЕТАЛИ	162
<i>Шабельник Г.В., Середюк В.С.</i> ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ (ВІДНОВЛЕННЯ) КІЛЕЦЬ ГОРЛОВИХ В УМОВАХ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА СКЛОЗАВОДІВ	165
<i>Шіхаб Т.А., Шлапак Л.С., Присяжнюк П.М., Цап І. В.</i> КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Cr_3C_2 – Cu60Ni20Mn20 ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ	167
<i>Бурыкин В.В.</i> ФИНИШНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ	169
<i>Добровольска Л. Н., Куць Н.Г. Собчук Д.С.</i> ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	171
<i>Євтифеев С.Л., Крушельницький Д.О.</i> БАГАТОКОМПОНЕНТНИЙ СПЛАВ З АНТИФРИКЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	173
<i>Зяхор И.В., Завертанный М.С.</i> ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ	175

ИНЖЕНЕРИЯ ПОВЕРХНОСТИ И РЕНОВАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ

Материалы 18-й Международной научно-технической
конференции, 04–08 июня 2018, г. Свалява, Закарпатская обл.

Компьютерная верстка: Копейкина М.Ю.

Подписано в печать 16. 05. 2018

Формат 60×84×1/16. Бумага типографская

Печать офсетная. Уч. изд. л. 15,0.

Тираж 150 экз.

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