



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

MODERN QUESTIONS OF PRODUCTION AND REPAIR IN INDUSTRY AND IN TRANSPORT

**Materials of the 20th International Scientific
and Technical Seminar**

(March 23–29, 2020, Tbilisi, Georgia)

Kyiv –2020

Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте : Материалы 20-го Международного научно-технического семинара, 23–28 марта 2020 г., г. Тбилиси. – Киев : АТМ Украины, 2020. – 228 с.

Тематика семинара:

- Современные тенденции развития технологии машиностроения
- Подготовка производства как основа создания конкурентоспособной продукции
- Состояние и перспективы развития заготовительного производства
- Совершенствование технологий механической и физико-технической обработки в машино- и приборостроении
- Упрочняющие технологии и покрытия
- Современные технологии и оборудование в сборочном и сварочном производстве
- Ремонт и восстановление деталей машин в промышленности и на транспорте, оборудование для изготовления, ремонта и восстановления
- Стандартизация, сертификация, технологическое управление качеством и эксплуатационными свойствами изделий машино- и приборостроения
- Внедрение стандартов ДСТУ ISO 9001:2015 в промышленности, высших учебных заведениях, медицинских учреждениях и органах государственной власти
- Метрология, технический контроль и диагностика в машино- и приборостроении
- Экологические проблемы и их решения в современном производстве

Материалы представлены в авторской редакции

© АТМ Украины,
2020 г.

Агабеков В.Е. Институт химии новых
материалов НАН Беларуси,
Хейфец М.Л., Грецкий Н.Л. ОАО
«НПО «Центр» НАН Беларуси,
Гутковский А.И., Валент Д.С. ООО
«БСВТ-новые технологии» Минск, Беларусь

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ FDM

В последнее время технологии 3D печати быстро и стремительно развиваются. Технология производства изделий методом FDM (Fused deposition modeling) получила наибольшее распространение за счет простой конструкции и ценовой доступности как устройств, так и расходных материалов. На сегодняшний день стремительно увеличивается количество производителей материалов, появляются новые виды пластика, улучшаются существующие.

В ГНУ «Институт химии новых материалов НАН Беларуси» разработаны составы композиционных пластиков обладающих легкостью, высокой прочностью и теплостойкостью, которые успешно применяются для печати изделий специального назначения в ООО «БСВТ-новые технологии». Для определения области их рационального применения рассмотрим, представленное на рынке широкое многообразие материалов для FDM печати. В основном это различные по физико-химическим свойствам термопластики, но встречаются и композитные материалы, содержащие всевозможные добавки. Среди представленного многообразия материалов можно выделить основные, широко применяемые у пользователей 3D печати.

PLA – Polylactic Acid (Полилактид) – биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота. Один из наиболее часто применяемых в 3D печати термопластиков. Сырьем для производства полилактида служат кукуруза или сахарный тростник, а также может применяться картофельный крахмал, соевый белок, крупа из клубней маниока, целлюлоза. Поскольку пластик является биоразлагаемым и со временем под воздействием воздуха и ультрафиолета становится хрупким и разрушается, то из него целесообразно печатать изделия с коротким сроком службы. Нетоксичен и при печати практически не пахнет, что позволяет печатать им без использования специальной вытяжки. Напечатанные изделия не предназна-

чены для несения высоких механических нагрузок, а служат в основном в качестве дизайнерских моделей, сувениров и игрушек. Пластик впитывает воду, а высокая твердость и хрупкость затрудняет его механическую обработку. При печати он дает незначительную усадку, что позволяет создавать крупногабаритные изделия сложной геометрии. Стоимость PLA-пластика относительно невелика, однако узкий температурный диапазон использования (от -20 до $+40$ °C) ограничивает его применение.

ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene (Акрилонитрилбутадиенстирол) – ударопрочная термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом. ABS-пластик обладает отличными механическими свойствами, долговечностью и низкой стоимостью, устойчив к влаге, кислотам и маслу, однако плохо переносит воздействие ультрафиолетового излучения, желтеет на солнечном свете, что ограничивает его применение. Напечатанные изделия являются достаточно прочными, поэтому их часто используют для печати функциональных деталей, имеющих практическое применение. Легко поддается окрашиванию. Основным минусом ABS-пластика можно считать высокую степень усадки до 0,8% объема, что приводит к значительным деформациям модели, закручиванию первых слоев и растрескиванию. Низкая адгезия расплавленного ABS-пластика с рабочей поверхностью печатного стола 3D принтера требует дополнительных средств для схватывания первых слоев, таких как клейкая лента, полиимидная пленка и т.д. При нагревании ABS-пластика выделяются пары акрилонитрила – ядовитого соединения, способного вызвать раздражение слизистой оболочки и отравление, поэтому рекомендуется печатать в хорошо проветриваемых помещениях или оснащать 3D принтер специальной системой вытяжной вентиляции.

HIPS – High Impact Polystyrene (высокопрочный полистирол) – достаточно мягкий пластик, создавался для использования совместно с ABS, для поддержек при двухэкструдерной 3D-печати. Этому способствовали его одинаковая с ABS температура экструзии, низкая спекаемость с ABS, наличие растворителя (D-Limonene), который растворяет HIPS и не растворяет ABS.

Такие характеристики сделали возможным использование данного пластика и для самостоятельного применения. На данный момент выпускается различными производителями в широком диапазоне цветов, однако меньшем, чем для PLA или ABS.

PVA – (поливиниловый спирт) – материал с уникальными свойствами и особым применением. Главной особенностью PVA является

его водорастворимость. 3D-принтеры, оснащенные двойными экструдерами, имеют возможность печати моделей с опорными структурами из PVA. По завершении печати опоры могут быть растворены в воде, оставляя готовую модель, не требующую механической или химической обработки неровностей. Аналогично, PVA можно применять для создания водорастворимых мастер-моделей для литейных форм и самих литейных форм. При низкой влажности пластик обладает высокой прочностью на разрыв. При повышении влажности уменьшается прочность, но возрастает эластичность.

PET (полиэтилентерефталат). Материал имеет высокую химическую устойчивость к кислотам, щелочам и органическим растворителям. Отличается высокой износоустойчивостью и температурным диапазоном рабочих температур – от –40 до 75 °С. Кроме этого, материал легко поддается механической обработке. Последнее время он вытесняется с рынка более прочными и долговечными гликоль-модифицированными филаментами.

PETG (полиэтилентерефталат-гликоль) – износостойкий сополиэфир PET, модифицированный гликолем для большей долговечности. Относительно недавно появился на рынке. При печати происходит сильное спекание слоев, что позволяет печатать тонкостенные изделия с высокой прочностью. При печати отсутствует запах, он не токсичен, что дает возможность печатать изделия, предназначенные для контакта с пищей. Химически стоек: не боится щелочей, кислот, воды. Хорошее скольжение и ударопрочность позволяет печатать из PETG шестерни, втулки и другие детали механизмов.

SBS (стиролбутадиен–стирол) еще один относительно новый пластик для 3D-печати. Характеризуется низкой токсичностью и усадкой. Основное преимущество в его прозрачности. Изделия, напечатанные этим пластиком и обработанные сольвентом, приобретают прозрачность окрашенного стекла, что позволяет использовать их в светильниках. Изделия из SBS-пластика отличаются морозоустойчивостью и невосприимчивостью к действию агрессивных веществ, таких как спирты, жиры, кислоты и щелочи. Пластик допущен для изготовления медицинских изделий и детских игрушек.

Flex (полиуретан) мягкий резиноподобный материал. Используется там, где нужна гибкость и эластичность готовых изделий. Обладает водонепроницаемым, морозоустойчивым и анти-ультрафиолетовым свойством (устойчивость к пожелтению, выдерживает воздействие солнца).

Nylon (нейлон) – синтетический материал из семейства полиамидов. Стоек к истиранию, отсюда и основное применение – трущиеся узлы кинематических пар (шестеренки, втулки и т.д.), подвижные шарниры или другие функциональные части и механизмы. При печати нейлоном возможно выделение токсичных паров. Нейлон очень гигроскопичен. Так как используется в основном в технических целях, выпускается обычно белого, реже черного цвета.

PC (Поликарбонат) один из самых прочных материалов существующих на рынке 3D-печати. Устойчив к физическому и тепловому воздействию. Выдерживает температуру до 110 °С, прозрачен. В бытовой 3D-печати применяется редко из-за высокой токсичности и усадки. Используется для печати технических изделий высокой прочности и работающих в условиях повышенных температур.

BioFila (Биоразлагаемый) – на 100% биоразлагаемый филамент, производимый из возобновляемых источников сырья. Материал создан на основе лигнина. Отличие материал bioFila от других, существующих сегодня материалов – твердость и ударная вязкость по Шарпи. В настоящее время существуют два вида BioFila оптимизированных для 3D-печати: bioFila silk (шелк) и bioFila linen (лён). Основные достоинства данного филамента – уникальные физические свойства и отсутствие вреда экологии.

Wood или Woodfill (древеснонаполненный) – это PLA, в который добавляют очень мелкие древесные опилки. В результате чего, изготовленные с применением данного пластика изделия получают фактуру древесины. Используется в декоративных целях. По характеристикам почти идентичен обычному PLA, но – чем больше древесных волокон в него добавлено, тем меньше прочность и упругость конечных объектов.

Metal, (Металлонаполненный) – пластик, аналогичный предыдущему, только в качестве наполнителей работают частицы бронзы, меди, латуни или алюминия, а в качестве базового пластика может использоваться не только PLA, но и ABS. Обычно в пластик добавляют до 50% металлического порошка, но существуют филаменты с долей металла до 85%. Свойства конечного изделия зависят от того, какое сочетание пластика и металла было использовано в качестве базового при производстве филамента.

Conductive (электропроводный) – это пластик, который можно использовать в качестве токопроводящих элементов в электрических цепях. В основе лежит PLA или ABS, в состав которых введены электропроводящие частицы. Поэтому свойства электропрово-

дящего пластика зависят от исходного материала. Сопротивление обычно достаточно высокое и составляет сотни Ом на сантиметр длины. При использовании двухэкструдерных принтеров можно печатать проводники сразу в готовом изделии.

Glow-in-the-Dark (фосфоресцирующий пластик) – декоративный филамент, для печати декоративных изделий и игрушек, от которых требуется недолгое и неяркое свечение. В основе может лежать PLA, ABS или PETG. К базовому пластику добавляется пигмент, способный накапливать световую энергию и излучать ее в темноте. Свойства такого филамента зависят от базового пластика.

Magnetic (Магнитный) – в основе данного пластика PLA или ABS. В качестве присадки используется ферромагнетик, за счет этого пластик приобретает способность притягиваться к магнитам. Его отличает высокая плотность, как и у металлонаполненных пластиков, а также высокие абразивные свойства. Для печати пластиком лучше использовать стальное сопло. Магнитные свойства невысоки, поэтому применять его лучше в декоративных изделиях.

Color-Changing (Изменяющий цвет) – композит на основе PLA или ABS, способный изменять цвет при изменении температуры. Его технические характеристики зависят от материала основы.

Ceramo, ceramic (керамический) – материал, имитирующий керамические изделия. Твердый и прочный, но хрупкий. Готовые изделия практически неотличимы по тактильным ощущениям от настоящей керамики. Изделия легко поддаются механической обработке. Пруток очень хрупкий, требует осторожности при установке в принтер. Рекомендуется увеличивать толщину стенок детали, чтобы при постобработке не протереть их насквозь.

Carbon Fiber (с углеродным волокном) – пластик, рассчитанный на высокие нагрузки. В качестве основы обычно используется нейлон с добавлением углеродных волокон. Может также изготавливаться на основе PLA, ABS, PETG, PC. Характеристики его зависят от свойств материала основы и степени наполнения углеродным волокном. Один из самых дорогих по сравнению с обычными бытовыми и высокотемпературными инженерными пластиками.

PC/ABS (поликарбонат + акрилонитрилбутадиенстирол) – поликарбонат является очень прочным материалом, но им сложно печатать, поэтому для облегчения печати используется его смесь с ABS. Данный пластик обладает высокой ударпрочностью даже при низких температурах, термической стойкостью, высокой жесткостью и хорошей обрабатываемостью.

Wax (MOLDLAY) (литьевой воск) – используется для изготовления выжигаемых моделей для литья. Модели, напечатанные воском, можно обрабатывать в пламени горелки и сглаживать растворителем, они легко поддаются механической обработке, что уменьшает требуемую обработку конечной металлической отливки. Широко используется в ювелирной промышленности и протезировании при изготовлении металлических прототипов.

ASA (Акрилонитрил-стирол-акрилат) – атмосферостойкий пластик. Аналог ABS, но более стойкий к ультрафиолетовому излучению. Не желтеет на открытом воздухе. Используется для печати наружных изделий контактирующих с атмосферой.

PP (полипропилен) – материал имеет низкую удельную массу, нетоксичен, обладает хорошей химической стойкостью, устойчив к влаге, износу и обладает низкой ценой. Среди недостатков полипропилена можно отметить уязвимость к температурам ниже -5°C и к воздействию прямого солнечного света. Данный материал не сильно распространен в 3D-печати из-за высокой усадки материала и сложность печати (требует наличия термокамеры).

POM (полиацеталь) – пластик, по своим физико-механическим свойствам превосходящий нейлон. Обладает низким трением, поэтому хорошо подходит для печати шестерен и подшипников. Очень сложен в печати, требует контроля не только температуры сопла, но и температуры в камере принтера. Морозоустойчив, но высокая усадка при печати сводит на нет все преимущества.

PMMA (Полиметилметакрилат) – прочный влагостойкий материал, устойчивый к воздействию солнечного света, прозрачный. Изделия из него достаточно пластичны и легко поддаются склейке. В традиционной 3D-печати методом FDM используется достаточно редко.

PEEK (Полиэфирэфиркетон) – современный полукристаллический материал, обеспечивающий уникальную комбинацию механической, химической и тепловой стойкости. Очень прочный высокотемпературный пластик. В бытовой печати практически не применяется, из-за высоких требований к температурам сопла и стола принтера (температура экструзии $360\text{--}410^{\circ}\text{C}$; стола $120\text{--}180^{\circ}\text{C}$). Требует наличия термокамеры при печати.

Cleaning (чистящий) – в отличие от остальных перечисленных материалов, это – чистящий филамент, который используется не для печати объектов, а для чистки головок 3D-принтеров. Цель его использования – удаление в хотэнде, остатков материала после предыдущей печати.

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ОП-10

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), применяемые в машиностроении при обработке металлов резанием, призваны обеспечить не только высокую производительность при обработке деталей машин, но и повысить качество обрабатываемых поверхностей, что особенно важно на финишных и доводочных операциях, которые обеспечивают работоспособность машины на этапе эксплуатации. Одним из эффективных методов финишной обработки деталей машин является магнитно-абразивная обработка (МАО), для которой режущим инструментом является ферроабразивный порошок (ФАП). Известные СОТС для МАО характеризуются таким недостатком как засаливание поверхности инструмента из-за большого содержания минеральных масел [1]. В настоящее время для МАО в качестве СОТС применяются эмульсии на основе эмульсолов ЭТ, ЭГТ и Укринол. Однако наличие грубодисперсной ($1\cdot 10^{-1}$ мм) фазы таких эмульсий приводит к прекращению фильтрации СОТС ферроабразивной «щеткой». Движение СОТС под влиянием градиента давления производится принудительным путем через нерегулярно расположенные поры между частицами ФАП. Нерегулярность порового распределения обусловлена морфологией частиц ФАП и их перемещением относительно детали в трех координатных плоскостях, что обеспечивает перекрытие порового пространства как функции от времени. Это приводит к изменению проницаемости СОТС по причине изменения сопротивления ФАП, в том числе и гидравлического, которое в свою очередь определяется течением СОТС в капиллярах пористой среды. В случае если характерный размер частиц субстрата больше характерного размера порового сужения, то частицы оседают на поверхности ФАП, приводя к отсутствию проницаемости. В итоге снижается интенсивность процесса резания, а также затрудняется очистка обработанной детали. При подборе компонентов СОТС с учетом их физико-химических свойств, влияющих на производительность и качество обрабатываемых поверхностей, следует учитывать механизм по-

верхностных явлений на границе раздела фаз с использованием поверхностно активных веществ (ПАВ).

По результатам исследований [2] различных ПАВ, применяемых для очистки деталей из черных и цветных металлов, одним из наиболее эффективных признано неионогенное ПАВ ОП-10. Его состав представляет собой полиэтиленовый эфир диалкилфенола с 10–12 молями оксиэтилена. Коэффициент поверхностного натяжения ПАВ ОП-10 составляет 10,00–34,47 МДж/м², что по сравнению с другими ПАВ обеспечивает лучшие моющие свойства. Расширение технологических возможностей процесса МАО черных металлов может быть достигнуто созданием СОТС, включающего в себя триэтаноламин, олеиновую кислоту, нитрит натрия, мылонафт, тринатрийфосфат, эмульгатор ОП-10. Соотношение компонентов нового СОТС приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Химические составы образцов СОТС

Компоненты СОТС	Составы, мас.%		
	I	II	III
Триэтаноламиновое мыло олеиновой кислоты	0,4	0,5	0,6
Мылонафт	0,5	0,6	0,7
Эмульгатор ОП-10			
Тринатрийфосфат	0,2	0,3	0,4
Нитрит натрия			
Вода	остальное		

Испытания составов СОТС проводились на экспериментальной установке модели ЭУ-1. В качестве обрабатываемых образцов использовали втулки $D \times d \times b = 35 \times 30 \times 30$ мм из стали ШХ15. Исходные значения параметра шероховатости R_a поверхности находились в диапазоне 1,2–1,8 мкм. Режимы МАО: магнитная индукция в рабочем зазоре – 0,9 Тл; скорость вращения детали – 2,5 м/с; скорость осцилляции детали – 0,15 м/с; амплитуда осцилляции – 3 мм; рабочий зазор – 1,5 мм; время обработки – 60 с; ФАП – Ж15КТ, зернистость порошка ФАП – 200-315 мкм. Массовый съем металла и шероховатость поверхности после обработки (табл. 2).

Экспериментально установлено, что состав II по сравнению с прототипом СинМА-1 обеспечивает повышение производительности МАО в 1,5–2,0 раза и снижение шероховатости поверхности в 2 раза. Таким образом, проведенные исследования по созданию ново-

го вида СОТС для МАО стали ШХ15 позволили определить рецептуру его приготовления, присутствие которой в рабочем зазоре повышает режущую способность ФАП в процесс резания и снижает шероховатость обработанной поверхности.

Таблица 2 – Результаты производительности и качества МАО

Состав СОТС	Массовый съем ΔG , мг	Шероховатость поверхности по параметру Ra , мкм
СинМа-1	4,33	0,16
I	7,90	0,075
II	8,69	0,060
III	8,24	0,070

Литература

1. Финишная обработка поверхностей при производстве деталей / С. А. Клименко, М. Ю. Копейкина, В. И. Лавриненко и др. ; под общ. ред. С. А. Чижики и М. Л. Хейфеца. – Мн. : Беларуская навука, 2017. – 376 с.

2. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : справ. / под ред. В. М. Школьников. – М. : Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

*Андреева Н.А., Баранов А.А., Корзун А.Е.,
Кулешов Н.М., Подгорный Г.В.*

ОАО «НПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ВНЕДРЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СТБ ISO 9001-2015 НА ОАО «НПО Центр»

ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси является ведущей организацией республики по разработке и производству центробежной техники, испытательных стендов, дробильно-измельчительного, классифицирующего и пылеулавливающего оборудования для процессов переработки и обогащения рудных и нерудных материалов, металлоконструкций различной степени сложности, технологического оборудования, технологических линий и комплексов, медицинских центрифуг,

комплексов плазменной и гидроабразивной резки и аттракционов. ОАО «НПО Центр» развивает новые в Республике Беларусь технологии электронно-лучевой сварки ответственных узлов и высоконагруженных механизмов для энергетического и транспортного машиностроения, приборостроения, авиакосмической отрасли, технологии центробежного литья черных и цветных металлов и др.

Менеджмент качества ОАО «НПО Центр» в основном развивается по пути внедрения международных стандартов ISO серии 9000 и создания интегрированной системы с привлечением OHSAS 18000. Система менеджмента качества на соответствие требованиям СТБ ISO 9001 в организации разработана, внедрена, сертифицирована и успешно функционирует с 2007 г.

Система менеджмента качества внедрялась в организации поэтапно. На первом этапе область применения системы включала не всю продукцию, а только разработку и производство центробежной техники, медицинской рефрижераторной и лабораторной центрифуг, комплексов плазменной резки. За прошедший период были проведены расширения области распространения системы менеджмента качества и с 2015 г. она распространяется на всю выпускаемую организацией продукцию.

За все годы функционирования СМК в организации результаты инспекционных аудитов были положительными. В 2018 г. проведена периодическая оценка системы менеджмента качества с внедрением новой версии СТБ ISO 9001-2015. В соответствии с новой версией стандарта, в организации определены внутренние и внешние факторы, влияющие на способность достигать намеченного результата СМК и внедрено риск-ориентированное мышление. В то же время сохранен процессный подход, который включает цикл «планируй-делай-проверяй-действуй».

В организации определены три основных процесса имеющих наибольшее значения для достижения установленных целей. Таковыми процессами являются: процесс «Маркетинговая деятельность», процесс «Проектирование и разработка», процесс «Производство».

В процессе «Маркетинговой деятельности» маркетологи организации постоянно изучают существующие рынки сбыта, анализируют внешнюю среду, позволяющую выявить факторы, содействующие коммерческому успеху или противодействующие ему. Организация успешно участвует в выставочно-ярморочных мероприятиях, поддерживает связь с потребителями, интересуется их потребно-

стями, собирает и обрабатывает информацию о надежности и техническом состоянии реализованной продукции.

В процессе «Проектирования и разработки» большое значение уделяется созданию продукции, являющейся ценностью для потребителя и удовлетворяющей его требования и ожидания. Это достигается как повышением отдельных характеристик выпускаемого оборудования, так и разработкой принципиально новых изделий. Оборудование создается под требования потребителя. Большое значение в процессе проектирования и разработки имеют научные исследования. В организации создан Филиал «Научно-технический центр», результатом работы которого является множество разработок принципиально нового дробильно-измельчительного оборудования, удовлетворяющего запросы современного потребителя.

Основными задачами, решаемыми при управлении процессом «Производство» являются: технологическая подготовка производства; управление технологической оснасткой и инструментом; управление оборудованием; управление средствами измерения, испытательным оборудованием; внедрение ТП; проведение контроля соблюдения технологической дисциплины; проведение постоянного улучшения; производство продукции; эксплуатация и ремонт технологического и энергетического оборудования; контроль качества продукции в процессе производства; контроль за условиями труда; управление КД, ТД; подготовка кадров; охрана труда.

Высокое качество продукции достигается путем контроля качества на всех этапах изготовления изделия, начиная с разработки и заканчивая эксплуатацией у потребителя. На стадии разработки проводится техническая экспертиза конструкторской и технологической документации. Закупка материалов и комплектующих осуществляется только с сертификатами качества и соответствия, а также паспортами, формулярами и другими сопроводительными документами, подтверждающими качество поступившего материала и комплектующих изделий с дополнительным проведением входного контроля.

Входной контроль качества продукции проводится отделом технического контроля с привлечением действующей в организации аккредитованной лаборатории по ремонту и поверке средств измерений и электрических испытаний на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 (контроль электрооборудования), проводится спектральный анализ металлов и сплавов, испытание материалов на механические свойства, линейно-угловые измерения, не-

разрушающий контроль поковок и сварных соединений ультразвуковым и радиографическим методом для определения однородности металла.

В процессе производства проводится операционный контроль выполнения технологических операций высококвалифицированными работниками отдела технического контроля. В организации имеется большой перечень универсальных средств измерений, обладающих высокой точностью и надежностью в работе.

В ОАО «НПО Центр» имеется две лаборатории по метрологическому контролю (поверке) и ремонту средств измерений, укомплектованные поверителями с соответствующими сертификатами компетентности и обеспеченные необходимыми средствами измерений для выполнения и контроля технологических операций изготовления продукции.

На заключительной стадии изготовления продукции и с целью контроля стабильности качества работники отдела технического контроля и отдела испытаний и сервисного обслуживания проводят приемо-сдаточные и периодические испытания в соответствии с требованиями технических условий и других ТНПА.

ОАО «НПО Центр» осуществляет на высоком уровне сервисное обслуживание продукции у потребителя. С потребителем поддерживается постоянная связь, проводится сбор информации о работе изделий (анкеты потребителя) с последующей статистической обработкой данных с целью повышения качества и совершенствования продукции.

С внедрением новой версии СТБ ISO 9001 в организации внедрено риск-ориентированное мышление. Разработан новый стандарт системы менеджмента качества «Менеджмент рисков организации». Применение риск-ориентированного мышления в ОАО «НПО Центр» заключается в выполнении следующих действий:

- выявление рисков (возможностей). Производится на основании данных о динамике и тенденциях удовлетворенности потребителя, качества продукции, состояния инфраструктуры, производственной среды, других факторов, влияющих на показатели деятельности ОАО «НПО Центр»;
- анализ рисков (возможностей). Производится руководителями и специалистами в виде тематических совещаний «День качества» и/или в соответствии с организационными мероприятиями, оценки

риска путем сравнения расчетного приоритетного числа риска и значения установленного допустимого риска;

- определение метода обращения с рисками (возможностями);
- результирующие действия. Применяются следующие действия: устные управляющие воздействия, разработка планов и мероприятий, составление организационно-распорядительных документов (приказ, распоряжение, письмо, протокол, докладная записка и т.п.), проведение испытаний, аттестаций и поверочных действий, внесение изменений в документы СМК.

Анализ рисков дает положительные результаты. Так, например, для процесса «Проектирование и разработка» планируется обновление компьютерной техники, уже расширен штат инженеров-конструкторов, что ощутимо сказалось на результативности процесса.

ОАО «НПО Центр» действует исходя из взаимовыгодного сотрудничества всех заинтересованных сторон, установления и развития партнерских отношений, укрепления авторитета надежного партнера.

Выпуская современную и качественную продукцию, предоставляя гарантийный и послегарантийный сервис, ОАО «НПО Центр» стремится максимально удовлетворить ожидания потребителей.

Основными намерениями деятельности ОАО «НПО Центр» на данном этапе являются:

1. Проектирование, производство и реализация исключительно качественной и конкурентоспособной продукции в соответствии с требованиями заинтересованных сторон.

2. Техническое переоснащение и совершенствование методов организации производства.

3. Производство постоянного мониторинга рынка для выявления потребностей потребителей, расширение существующих рынков сбыта продукции.

4. Подбор компетентного персонала, поддержание его профессионального уровня, привлечение персонала к совершенствованию процессов менеджмента качества.

5. Совершенствование системы менеджмента качества.

Внедрение и применение СМК обеспечивает управление деятельностью организации с повышением ответственности в области качества и гарантирует выполнение требований потребителя в полном объеме.

Базров Б.М. Институт машиноведения им.

А.А. Благоднарова РАН, Москва, Россия

Попок Н.Н. Полоцкий государственный университет, Новополоцк,

Хейфец М.Л. ОАО "НПО Центр" НАН Беларуси, Минск, Беларусь

УНИФИКАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Преемственность конструкторско-технологических и организационно-экономических решений при подготовке производства, эксплуатации и обслуживании, контроле и управлении базируется на основе единого информационного пространства виртуального предприятия, интегрирующего распределенные базы данных.

При проектировании структуры распределенных баз данных на первый план выходит проблема экономии ресурсов, целостности и полноты данных за счет минимизации до рационального количества позиций в ограничительных перечнях и регламентах использования на предприятии средств технологического и метрологического обеспечения. Поэтому разработка рациональной информационной модели является фундаментом комплексной компьютеризации конструкторской, технологической и метрологической подготовки производства.

Проектирование и изготовление, эксплуатация и обслуживание изделий требуют, прежде всего, оценки надежности, адаптивности и эффективности подготовки производства. Методы автоматизации подготовки производства, широко используемые на практике, подразделяются на три большие группы: типовых деталей и техпроцессов, аппликаций составных частей и структурной параметризации.

Недостаточная гибкость метода типовых деталей и техпроцессов, высокая трудоемкость метода аппликаций во многом объясняются одноуровневой организацией описания структур, объектов и процессов автоматизации.

Надежность структурно-параметрического метода обеспечивается построением структур с малым числом связей, а универсальность — наличием адаптивных конструктивно-технологических компонент. Трудоемкость метода обусловлена классификацией и унификацией структурных компонент и технологических функций относительно выбранной номенклатуры деталей. Классификация и последующая унификация по конструктивно-технологическим и эксплуатационно-

функциональным признакам позволяют уменьшить число параметров, упростить структурирование рассматриваемых объектов и процессов. Этим создаются условия для снижения трудоемкости остальных этапов и обеспечения эффективной подготовки производства.

В результате классификация с последующей унификацией на основе определения оптимального количества необходимых конфигураций конструктивно-технологических и эксплуатационно-функциональных компонент, оборудования, приспособлений и инструментов для их получения и контроля, а также структур, описывающих технологические и эксплуатационные процессы, является основой современных методов компьютеризации подготовки производства.

Организационная структура подготовки производства при движении потоков информации и материальных ресурсов должна обладать комплексом таких свойств, как надежность и адаптивность, а также обеспечивать высокую эффективность в условиях многономенклатурного производства. Структура должна соединять различные стадии подготовки производства и соответствующие им подсистемы, т.е. объединять в одно целое как работу с заказчиками, так и с поставщиками.

В соответствии с этим построение структуры должно органично включать в себя: классификацию, кодирование и унификацию конструктивных компонентов деталей, оборудования, приспособлений и инструментов для их получения и контроля; классификацию и кодирование структур, описывающих процессы на всех стадиях технологической подготовки производства с учетом изменений как внешних условий (заказ, сырье, оборудование), так и внутренних (конструкция, серийность, подразделение производства).

Требования, предъявляемые к построению технологических комплексов и подготовке многономенклатурного производства, определяют комплексный подход, базирующийся на синергетической концепции и характеризуемый:

- движением информационных и материальных потоков в подсистемах;
- открытостью подсистем, обменивающихся информацией и ресурсами с внешней средой;
- кооперативностью процессов обмена информационными и материальными потоками;
- неравновесной ситуацией в подсистемах, когда ресурсы и информация о них то нарастают, то уменьшаются.

Комплексный синергетический подход к автоматизации технологических комплексов при подготовке многономенклатурного производства анализирует:

- движение потоков, которое обусловлено противоречивыми свойствами системы (надежностью и адаптивностью), носит сложный нелинейный характер и осуществляется в виде противотока различных информационных сообщений и материальных ресурсов. Так, для материальных потоков конструктор, расширяя номенклатуру продукции, предлагает увеличить количество инструментов и оснастки, технолог, наоборот, – его сократить, а для информационных потоков достигается компромисс между конструктивными соображениями и технологическими требованиями;
- открытость производственной системы, которая подразумевает обмен информацией между различными подсистемами и постоянное изменение информации от внешних источников. Для материальных потоков, при изменении запросов заказчика изменяется выпускаемая продукция и потоки ресурсов между различными подсистемами – модулями технологических комплексов или подразделениями предприятия;
- кооперативность процессов, которая проявляется во взаимосвязи и взаимосогласовании встречных материальных и информационных потоков между функциональными модулями, а также конструкторским, технологическим и производственными отделами или различными подразделениями предприятия в процессе работы;
- неравновесность в системе, которая оценивается энтропией, описывающей количество информации, приходящейся на один элемент сообщения. Любой стихийный процесс в замкнутой системе сопровождается ростом энтропии и характеризуется минимумом упорядоченности. Приток информации в систему может обеспечить выход из этого положения, вместе с тем он может быть недостаточным, чтобы погасить рост энтропии, тогда ее рост только замедлится. Неравновесность – это состояние, при котором приток информации заставляет систему упорядочиваться.

Комплексный синергетический подход показывает, что для удовлетворения требований, предъявляемых к технологической подготовке автоматизированного многономенклатурного производства, они должны обладать способностью, в зависимости от внешних условий, перестраивать рациональным образом свою структуру

и управлять как информационными, так и материальными потоками, т.е. самоорганизовываться.

В результате подготовку производства целесообразно строить таким образом, чтобы при анализе информации обеспечивалась самоорганизация структуры в изменяющихся условиях производства посредством формирования самой информационной системой оптимальных структур баз данных, процедур управления и т. д.

В процессах формирования организационной структуры подготовки производства необходимо учитывать технические мероприятия по выбору прогрессивных технологий, оборудования и средств технологического оснащения. При этом целесообразно провести статистический анализ и усреднение характеристик объектов и процессов производства в рамках широкой номенклатуры применяемого оборудования, технологий и средств оснащения. Ограничение и изолирование дальнейшего роста номенклатуры объектов и процессов нужно осуществлять рационально в зависимости от вида продукции, работ и услуг предприятия.

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

Бородавко В.И., Грецкий Н.Л., Сенчук Д.М.
ОАО «НПО «Центр» НАН Беларуси,
Хилько Д.Н. ООО «ШТРАБАГ Инжиниринг Центр»,
Минск, Беларусь

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ОБЕЗВОЖИВАЮЩИХ ШНЕКОВЫХ ПРЕССОВ

Современные технологии твердофазного и жидкофазного сбраживания органических отходов, обработки сточных вод предпола-

гают их обезвоживание с помощью фильтр-прессов, шнековых прессов и декантирующих центрифуг. На первой стадии обезвоживания сброженных субстратов, шламов с высоким содержанием сухого вещества зачастую используются шнековые пресса (рис. 1) различных европейских производителей.



Рис. 1 – Шнековый пресс для обезвоживания сброженного субстрата после биогазовой установки

В Республике Беларусь в г. Бресте реализован «пилотный проект» по механико-биологической переработке твердых бытовых отходов с получением биогаза из органической фракции твердых бытовых отходов по технологии LARAN немецкой фирмы STRABAG UmwelttechnikGmbH (рис. 2).

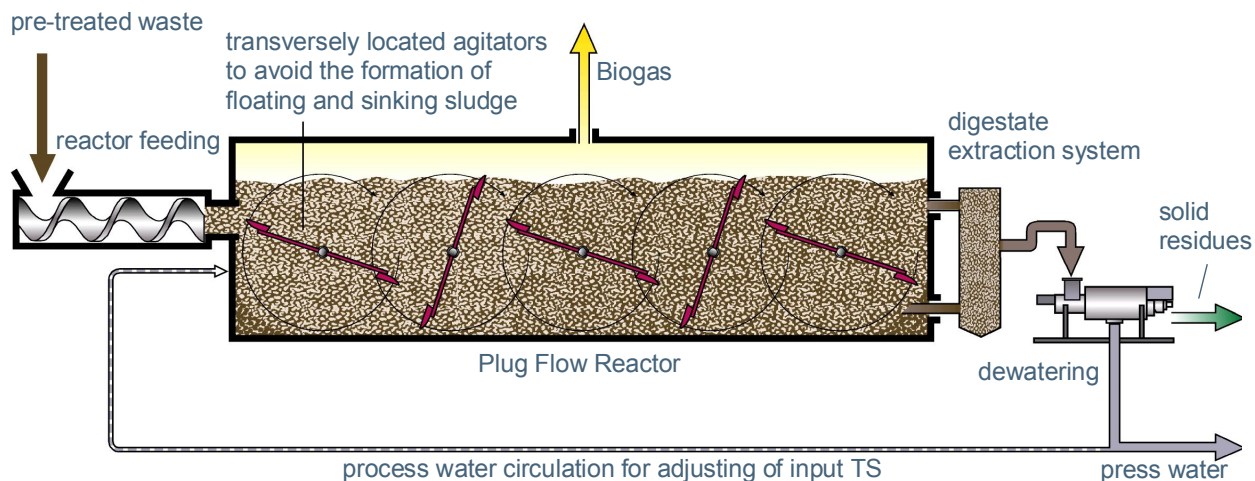


Рис. 2 – Биогазовая установка твердофазного сбраживания органических отходов

При обезвоживании сброженного субстрата на начальной стадии используется шнековый фильтр-пресс немецкого производителя Bellmer Kufferath со шнековым валом (рис. 3), витки которого в зоне давления подвержены интенсивному абразивному износу из-за содержания в исходном материале большого содержания песка, камней, пластика.

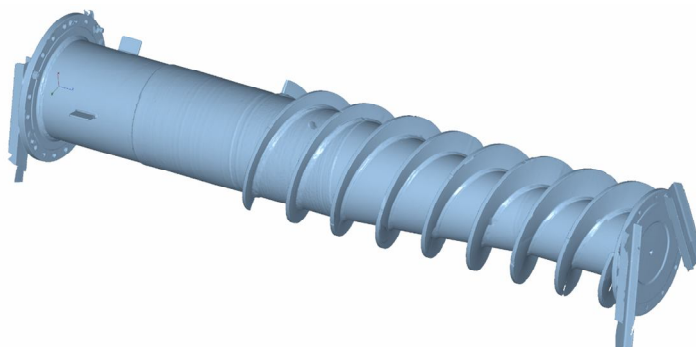


Рис. 3 – Шнековый вал обезвоживающего пресс-шнека

Для поддержания вала в работоспособном состоянии ООО «ШТРАБАГ Инжиниринг Центр» совместно с ОАО «НПО Центр» проведены металлографические исследования исходной износостойкой наплавки и выданы эксплуатирующей организации рекомендации по проведению ремонта трещин и сколов наплавленного слоя без проведения работ по его демонтажу: наплавка промежуточного слоя электродами CARBO 4370, наплавка основного слоя электродами CARBODUR 65 в соответствии с DIN 8555 (E10-UM-65-GTZ), химический состав лигатуры которых идентичен с исходной наплавкой и соответствует обозначению E Fe16 по DIN EN 14700. Восстановление диаметральных геометрических размеров витков шнекового вала наплавкой по старой наплавке не представляется возможным ввиду ее высокой твердости –60–63 HRC.

При достижении износа витков свыше 5 мм на сторону требуется выполнение капитального ремонта вала, который заключается в следующем: срезание дефектных витков; срезание старой наплавки со всех витков; токарная обработка срезанных витков; приварка новых витков взамен срезанных дефектных; наплавка износостойкого защитного слоя на все витки с обеспечением твердости покрытия не менее 60 HRC; упрочнение наплавкой боковой поверхности первого витка с обеспечением твердости защитного покрытия 60–65 HRC; шлифовка наружного диаметра фланца и наплавленных витков в номинальный размер.

Стоимость капитального ремонта в два раза ниже, чем изготовление нового вала. Срок выполнения капитального ремонта шнекового вала от 2-х до 3-х месяцев, поэтому актуальным является регулярный контроль степени износа витков вала и их локальный ремонт с использованием соответствующих наплавочных материалов, а также организация ремонтного участка на базе ОАО «НПО Центр» с внедрением автоматизированной установки по электродуговой наплавке износостойких проволоочных материалов на цилиндрические поверхности деталей машин.

Бурлаков В.І. Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Україна

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС В ЗОНІ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ

Після формування різального абразивного інструменту магнітним полем змінюються умови зняття припуску з зразків, так як зерна, розташовуючись на різних рівнях від днища робочої камери, поступово видаляють припуск окремими тонкими шарами. Різальні

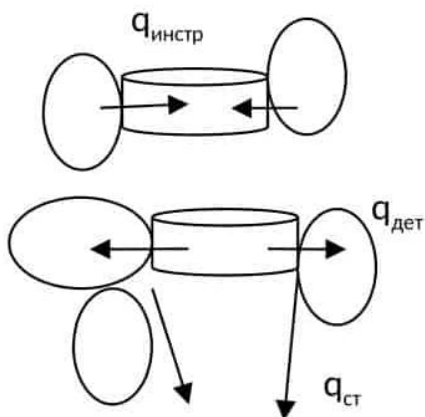


Рис. 1 – Схема циркуляції теплових потоків, що виникають при різанні кераміки ВіМАО: $q_{ст}$ – тепло, що відводиться стружкою; $q_{дет}$ – тепло, що поглинається деталлю; $q_{інстр}$ – тепло, що поглинається інструментом

зерна, розташовані на нижчій кромці фронтальної ділянки виступу, зрізують верхній шар. При цьому тепло $q_{дет}$, що виділилося, поширюється в глибинні шари інструменту. Однак високі температури не встигають поширитися на глибину загального припуску t , що знімається, так як наступна група різальних зерен, розташована вище, видаляє прогріті шари оброблюваного матеріалу. При пошаровому видаленні припуску збільшується кількість тепла $q_{стр}$, що поглинається стружкою відколу, і зменшується кількість тепла, що йде в зразок (рис. 1). Експериментально встановлено, що при вібро-магнітно-абразивній обробці (ВіМАО) кіль-

кість тепла, що поглинається заготівкою, значно менше, ніж в процесі шліфування суцільним кругом.

Частка тепла, що уходить в стружку, зростає зі збільшенням глибини різання. Зменшення кількості тепла, що поглинається заготівкою, зменшує температуру в зоні контакту інструмента і оброблюваної поверхні.

Рішення диференційного рівняння теплопровідності Фур'є дає рішення, придатне в загальному випадку для опису відведення тепла із зони різання, а саме для теплопровідності при нагріванні стружки, абразив, деталі що оброблюється.

З граничних умов відомі значення T_1 і T_2 на поверхнях стінки, тоді можна обчислити величину Q , а потім знайти розподіл температури по товщині шару матеріалу

$$\int_1^{T(z)} \lambda(T) dt = -Q \int_1^z \frac{d\zeta}{S(\zeta)}. \quad (1)$$

Це рівняння дозволяє встановити розподіл температури в зоні різання, знаючи величину Q з урахуванням граничних умов.

Таким чином рішенням рівняння буде являтися знаходження температури заготівки ($T = 303$ К), температури стружки ($T = 294$ К) і температури абразивного середовища ($T = 327$ К). Розрахунками встановлено, що «температура обробки» буде в допустимих межах.

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

ТОРЦЕВАЯ ФРЕЗА КАССЕТНОГО ТИПА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ

В настоящее время широкое распространение получили торцевые фрезы с механическим креплением неперетачиваемых пластин из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ). Такие фрезы применяют для получистовой и чистовой обработки деталей из закаленных сталей, высокохромистых чугунов, твердых покрытий и других труднообрабатываемых материалов. Они просты в эксплуатации, обеспечивают повышение стойкости, сокращение затрат на инструмент и качество обработанной поверхности [1].

Проектирование торцовых фрез является многовариантной задачей, при этом отсутствуют четкие критерии их рациональной конструкции. В настоящей работе рассматриваются некоторые направления совершенствования их конструкций.

Цель работы – совершенствование конструкции торцевой фрезы из ПСТМ при фрезеровании плоских деталей из труднообрабатываемых материалов для испытания режущих пластин из ПСТМ.

Учитывая, специфические структуру и свойства труднообрабатываемых материалов, а также особенности макрогеометрии деталей, особое место при проектировании фрезерного инструмента из ПСТМ при высоких скоростях резания приобретают его конструктивные мероприятия по снижению вибрации. Случайные воздействия на режущий инструмент, связанные с неравномерностью припуска на обработку и изменением механических свойств обрабатываемых материалов, приводят к возникновению собственных колебаний в технологической системе. Колебания сопровождаются изменением сечения среза, скорости резания и силы резания. Для борьбы с вибрациями и качественной обработки деталей из труднообрабатываемых материалов сконструирована торцевая фреза из ПСТМ кассетного типа [2].

Фреза (рис. 1) состоит из корпуса и кассет, в которых механически крепятся неперетачиваемые поликристаллические пластины из ПСТМ в форме круглого цилиндра типа RNMN 120400T.

Режущая пластина устанавливается в кассету фрезы на твердосплавную подложку и механически закрепляется с помощью прихвата. После износа пластинку поворачивают вокруг своей оси и вводят в работу неизношенную часть режущей кромки. При полном же износе режущих кромок производится смена комплекта пластин.

За переднюю поверхность зуба фрезы принималась торцевая плоскость режущей пластины, а за заднюю поверхность – цилиндрическая поверхность. Конструкция кассеты обеспечивает получение на режущей части требуемых величин передних и задних углов. Кассеты устанавливаются в корпус фрезы с возможностью регулирования положения режущих кромок в торцевом направлении. В зависимости от обрабатываемого материала в тот же корпус фрезы можно установить комплект кассет с другими углами или под другой тип пластин (рис. 2). Подобная конструкция обеспечивает повышение стойкости инструмента и снижение шероховатости поверхности при обработке различных материалов.

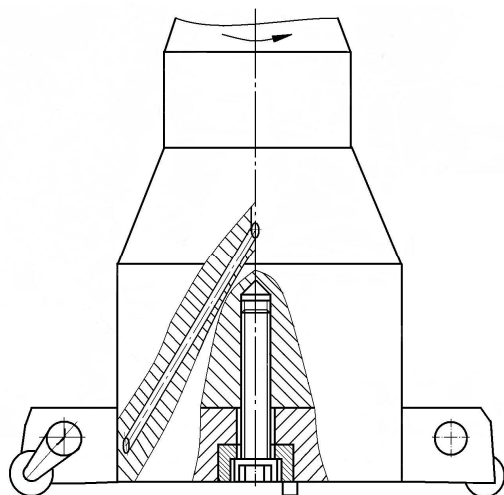


Рис. 1 – Торцевая фреза кассетного типа с круглыми пластинами из ПСТМ

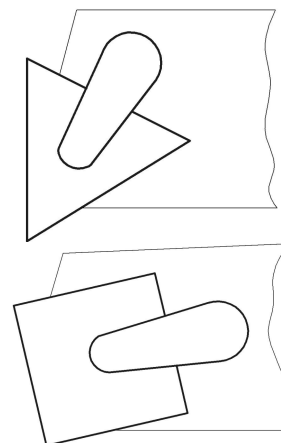


Рис. 2 – Крепление в кассете различных типов пластин из ПСТМ

При высокоскоростном фрезеровании подача на зуб и на оборот фрезы не изменилась, поэтому резкое увеличение производительности не сказалось на качестве обработки. Предложенная конструкция фрезы позволяет использовать один и тот же корпус для фрез разного назначения, применяемых на специальных скоростных станках с ЧПУ. Использование таких фрез позволяет унифицировать режимы резания чугунов, термически обработанных сталей и покрытий, что важно при обработке на станках с ЧПУ.

Исследования торцевого фрезерования наплавленных покрытий Нп-30ХГСА, Нп-25Х5ФМС и Нп-65Г производили торцевой фрезой кассетного типа с режущими вставками из композита 10, диаметром 60 мм, разработанной Институтом сверхтвердых материалов НАН Украины на чистовых операциях и показали, что критерием затупления инструмента является ширина фаски износа по задней поверхности 0,4 мм. Увеличение износа фрезы выше указанного предела приводит к разрушению режущих элементов и делает дальнейшую эксплуатацию фрезы практически невозможной. Обработка наплавленных материалов производилась на следующих режимах резания: скорость резания $v = 1\text{--}2$ м/с, продольная подача $S_z = 0,03\text{--}0,10$ мм/зуб и глубина резания t до 0,5 мм, обеспечивая шероховатость поверхности Ra 0,32–0,63 и высокую работоспособность инструмента.

Предложенная конструкция торцевой фрезы позволяет снизить уровень крутильных колебаний, существенно меньше становится влияние механического удара на процесс изнашивания режущих пластин, резко сокращается число сколов и выкрашиваний, износ

стабилизируется, стойкость и надежность фрезы возрастает. Кроме того, уменьшается тепловое циклическое воздействие на режущие кромки, так как за период холостого пробега спад температуры приконтактного слоя режущего клина незначителен, что также способствует уменьшению интенсивности и стабилизации процесса изнашивания режущих кромок. Применение в конструкции торцевой фрезы универсальных кассет крепления режущих элементов из ПСТМ позволяет использовать такой инструмент в станках с ЧПУ и значительно уменьшает себестоимость механической обработки.

Литература

1. Бурыкин, В. В. Обработка деталей торцевой фрезой, оснащенной поликристаллическими сверхтвёрдыми материалами / В. В. Бурыкин // Инженерия поверхности и реновация изделий : Мат. межд. науч. конф., 20–24.05.2019 г., Свалява. – К.: АТМ Украины, 2019. – С. 25–29.

2. Бурикін, В. В. Патент України на корисну модель № 132606. Торцева фреза / В. В. Бурикін // Промислова власність. – 2019. – Бюл. № 5.

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

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КАМ НА ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТО-ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ШЛАМА И ЕГО МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Создание износостойких композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ), предназначенных для породоразрушающих инструментов необходимо для рациональной добычи и переработки полезных ископаемых.

Установление закономерностей влияния интенсивности изнашивания КАМ на изменение состава и морфометрических характеристик шлама необходимо для прогнозирования эффективности разрушения горной породы.

Цель работы – исследование влияния интенсивности изнашивания породоразрушающих элементов из КАМ на изменение магнито-фракционного состава и морфометрических характеристик шлама.

Исследования проведены на шламе, содержащем продукты разрушения блока песчаника Торезского месторождения и разрушения экспериментальных функциональных элементов из КАМ на основе Ni-Sn 6%, оснащенных порошком алмаза АСТ 200 зернистости 400/315, спеченных методом интенсивного резистивного электро-спекания под давлением до 180–240 МПа. Интенсивность изнашивания функциональных элементов определяли в виде отношения потери массы породоразрушающего элемента к величине его проходки по горной породе.

Магнито-фракционный состав шлама определяли по результатам разделения шлама в магнитном поле на фракции, характеризующиеся различной удельной магнитной восприимчивостью (χ , м³/кг). Разделение выполняли на специально разработанном стенде, обеспечивающем индукцию магнитного поля 0,3–1,3 Тл. Для каждой выделенной фракции шлама определяли массу, ее долевое содержание в массе всего шлама (γ , %) и удельную магнитную восприимчивость χ . По полученным результатам построены кривые распределения и предложена их аппроксимация (рис. 1).

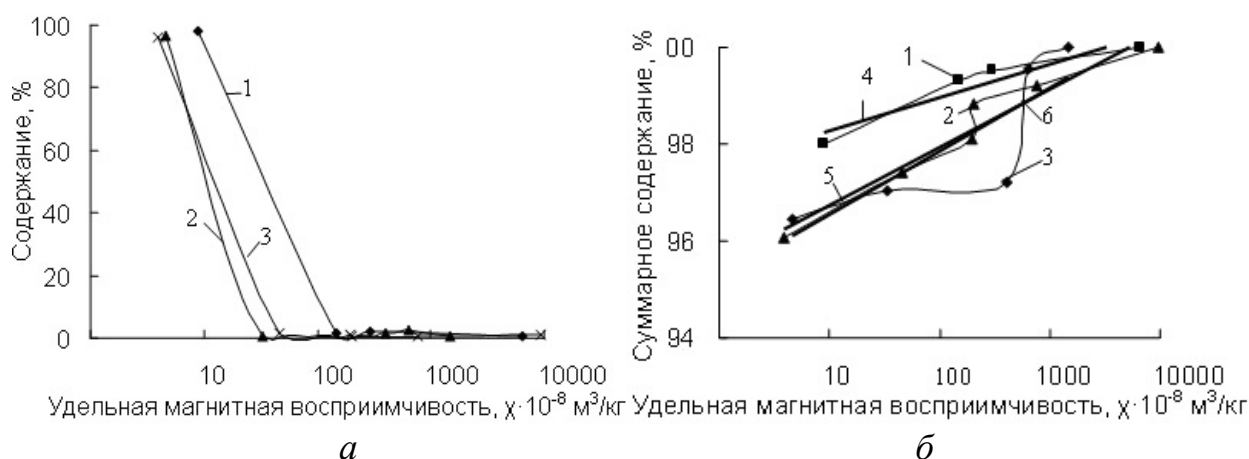


Рис. 1. Магнито-фракционный состав шлама (дифференциальный – а, суммарный – б). Состав шлама, полученного в результате испытаний при различной интенсивности изнашивания элементов из КАМ: 1 – 75 мг/км; 2 – 105 мг/км, 3 – 170 мг/км, 4, 5, 6 – аппроксимация кривых суммарного магнитного фракционного состава шлама.

Определение морфометрических характеристик шлама проводили на магнитной фракции, то есть, отличающейся максимальной магнитной восприимчивостью в интервале размеров 5–50 мкм.

Системно-аналоговый анализ проводили с использованием прибора DiaInspect OSM (фирмы VOLLSTADT DIAMANT, GmbH).

Оценка интенсивности изнашивания экспериментальных функциональных элементов из КАМ при различных условиях испытаний показала, что интенсивность изнашивания функциональных элементов зависит от скорости подачи горной породы и в интервале 0,148–0,26 мм/об изменяется от 75 до 170 мг/км, соответственно.

Результаты определения магнитно-фракционного состава шлама представлены в системе координат (y – $\lg x$), где y – дифференциальное содержание (рис. 1, а); y – суммарное содержание (рис. 1, б) фракции шлама (%), x – удельная магнитная восприимчивость фракции χ . Полученные распределения позволяют определить содержание фракции шлама с заданной удельной магнитной восприимчивостью. Результаты аппроксимации кривых суммарного магнитного фракционного состава шлама представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Аппроксимация экспериментальных кривых суммарного магнитно-фракционного состава шлама

Интенсивность износа КАМ, мг/км	Аппроксимация	Достоверность аппроксимации, R^2
75	$y = 0,6948 \lg(x) + 97,569$	0,9071
105	$y = 1,2004 \lg(x) + 95,521$	0,9511
170	$y = 1,3109 \lg(x) + 95,23$	0,7116

В табл. 2 приведены морфометрические характеристики (размеры, форма, однородность, внешняя удельная площадь поверхности) магнитной фракции шлама, полученного в результате испытаний при различной интенсивности изнашивания функциональных элементов из КАМ.

В результате проведенной работы экспериментально установлен магнитно-фракционный состав шлама, состоящий из продуктов разрушения блока песчаника Торезского месторождения и продуктов разрушения, полученных в результате обработки блока экспериментальными элементами из КАМ на связке из Ni-Sn 6%, оснащенного порошком алмаза марки АСТ 200 зернистости 400/315. Установлено, что магнитно-фракционный состав шлама зависит от интенсивности изнашивания элементов из КАМ. При этом удельная магнитная восприимчивость фракций шлама распределяется в интервале $(26,8-9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а содержание магнитной фракции,

характеризующейся величиной удельной магнитной восприимчивости $(1500-9500) \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, тем больше, чем больше интенсивность изнашивания и составляет 0,44–0,80 масс.% шлама, что по всей вероятности обусловлено изменением магнитных свойств металлической связки с увеличением температуры в зоне резания горной породы. В интервале интенсивности изнашивания от 75 до 170 мг/км суммарный магнито-фракционный состав может быть описан функцией $y = a \lg(x) + b$ с достоверностью более $R^2 = 0,71$. Коэффициент "а", отражающий тангенс угла наклона кривой суммарного магнито-фракционного состава шлама рассчитан для различной интенсивности изнашивания элементов из КАМ. Полученная зависимость позволяет рассчитать содержание фракций шлама с заданной удельной магнитной восприимчивостью.

Таблица 2 – Морфометрические характеристики, однородность частиц магнитной фракции шлама в интервале 5–50 мкм

Характеристики	Интенсивность изнашивания элементов из КАМ, мг/км					
	75		105		170	
Обозначение	среднее значение	однородность	среднее значение	однородность	среднее значение	однородность
Максимальный Фере-диаметр частиц $F_{\max}$, мкм	36,94	0,4340	24,15	0,6060	23,63	0,6249
Минимальный Фере-диаметр частиц $F_{\min}$, мкм	25,21	0,5119	17,04	0,6574	16,33	0,7409
Формфактор $Comp.$	1,3358	0,7707	1,2956	0,8639	1,2976	0,8849
Удельная площадь внешней поверхности шлама $F_{уд}$, м ² /кг	56,34		70,46		72,05	

Морфометрические характеристики магнитной фракции шлама в интервале размеров 5–50 мкм, зависят от интенсивности изнашивания элементов из КАМ. Увеличение интенсивности изнашивания от 75 до 170 мг/км вызывает уменьшение максимального и минимального диаметров частиц в 1,6 раза сопровождаемое увеличением удельной площади внешней поверхности частиц в 1,3 раза, а также приводит к незначительному изменению формы частиц, приобретению округлой формы.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАЗМЕННОМ УПРОЧНЕНИИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Применение обратных задач теплопроводности для расчета температурных полей в приповерхностном слое обрабатываемой детали при плазменном упрочнении обусловлено трудностями проведения экспериментальных исследований по непосредственному измерению температурных полей. Для проведения таких исследований сначала проводится эксперимент по определению температуры как функции времени в точках, достаточно удаленных от приповерхностного слоя, при известных граничных условиях на всех поверхностях обрабатываемой детали, кроме той поверхности, которая подвергается воздействию плазменной дуги (струи). На основе решения обратной задачи теплопроводности восстанавливаются характеристики теплового нагружения (поле температур или плотность теплового потока) на поверхности обрабатываемой детали. Затем на основе решения прямой задачи теплопроводности находится температурное поле в приповерхностном слое. Следует отметить, что некоторые методики решения обратной задачи теплопроводности [1, 2] позволяют уже на этом этапе определить температурное поле в приповерхностном слое. Тогда в качестве истинного температурного поля можно принять поле, получающееся усреднением температурных полей, получаемых при решении обратной задачи теплопроводности и последующего решения прямой задачи.

Рассмотрим задачу определения температурного поля в приповерхностном слое пластины с размерами a , b , c , нагреваемой в плоскости $y = b$ плазмотроном, движущимся со скоростью v вдоль оси x . При достаточно больших скоростях движения плазмотрона, имеющих место в реальных условиях, с достаточной степенью точности можно пренебречь распространением тепла в направлении оси Ox . Тогда, считая, что нижняя поверхность адиабатически изолирована и что при экспериментальных исследованиях определяется температура на грани $y = 0$, получаем двумерную обратную не-

стационарную задачу краевую теплопроводности с граничными условиями второго рода:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau < \tau_m, \\ \Delta T(x, y, z, 0) = \varepsilon(x, y, z), \quad (1)$$

$$\frac{\partial T(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial T(x, y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial T(x, 0, z, \tau)}{\partial y} = 0, \quad \Delta T(x, 0, z, \tau) = \varepsilon(x, z, \tau),$$

где T – температура, a – коэффициент температуропроводности, ε, f – известные функции. Необходимо найти функцию $q(x, z, \tau) = -\lambda \frac{\partial T(x, b, z, \tau)}{\partial y}$ где λ – коэффициент теплопроводности.

Таким образом, для определения плотности теплового потока проводятся экспериментальные исследования по определению поля температур на адиабатически изолированной нижней грани пластины при движении плазмотрона вдоль верхней грани. Если при этом использовать пластину с большими размерами b и c , то отпадает необходимость адиабатической изоляции боковых граней. В соответствии с [3], одним из перспективных направлений в решении обратных задач является использование экстремальных постановок с привлечением градиентных методов минимизации функционала невязки. На их основе достаточно просто строятся регуляризующие алгоритмы решения некорректно поставленных задач [4]. Кроме того, как показано в [5], при использовании методов скоростного спуска и сопряженных градиентов не требуется задание близкого начального приближения, ибо они устойчивы к ошибкам аппроксимации, округления и сглаживания.

Рассмотрим задачу (1) как задачу отыскания функции $\Phi(x, z, \tau) = -\frac{q(x, z, \tau)}{\lambda}$, минимизирующей функционал

$$I(\Phi) = \int_0^{\tau_m} \int_0^c (T(0, z, \tau) - f(z, \tau))^2 dz \quad \text{при краевых условиях (1).}$$

Градиент функционала можно найти при рассмотрении сопряженной задачи:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \tau} = -a \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau < \tau_m, \quad \Psi(y, z, \tau_m) = 0, \\ \frac{\partial \Psi(y, 0, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \Psi(y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \Psi(b, z, \tau)}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Psi(y, 0, \tau)}{\partial y} = 2[T(0, z, \tau) - f(z, \tau)].$$

Минимизацию функционала производим с помощью метода сопряженных градиентов [6]. Построим итерационную последовательность вида $P^{k+1}(z, \tau) = P^k(z, \tau) - \beta_k \xi^k(z, \tau)$, где $\xi^k(z, \tau)$ – функции, определяющие направление спуска, β_k – коэффициенты, определяющие глубину спуска при переходе к следующему приближению, находятся из условия $\frac{\partial J[P^{k+1}(z, \tau)]}{\partial \beta} = 0$ и определяются выражением:

$$\beta_k = \frac{\int_0^{\tau_m} d\tau \int_0^c (T(0, z, \tau) - f(z, \tau)) \Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau) dz}{\int_0^{\tau_m} d\tau \int_0^c (\Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau))^2 dz}, \quad (3)$$

где приращение температуры $\Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau)$ определяется из решения следующей краевой задачи:

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 \Delta T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta T}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau < \tau_m, \quad \Delta T(y, z, 0) = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial \Delta T(y, 0, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \Delta T(y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \Delta T(0, z, \tau)}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \Delta T(b, z, \tau)}{\partial y} = \Delta P(z, \tau).$$

Зависимость $q(x, z, \tau)$ может быть представлена в виде:

$$q(x, z, \tau) = q(x_0 + v\Delta\tau, z, \tau + \Delta\tau). \quad (5)$$

Полученные результаты аппроксимировались зависимостями:

$$q(x, \tau) = \frac{q_{O_1}}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{q_{O_2}}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_2^2}} \quad (6)$$

для каждого значения z . Затем решалась прямая задача теплопроводности по определению температур в точках $y_1 = b - 0,1$, $y_2 = b - 0,2$, $y_3 = b - 0,3$ мм для всех значений z .

Найденные значения $q(x, z, \tau)$ являются исходными данными для решения прямой краевой задачи определения полей температур в прямоугольной пластине при реальных условиях наличия теплообмена на боковых и нижней грани.

Результаты проведенных экспериментальных и теоретических исследований сравнивались с численным решением, выполненным с использованием конечно-элементного вычислительного комплекса ANSYS. Изложенный подход может быть распространен на дру-

гие условия эксперимента, например, на случай другой геометрии или на исследования по известной плотности теплового потока на нижней грани.

Литература

1. Тёмкин, А.Г. Обратные задачи теплопроводности / А. Г. Тёмкин. – М. : Энергия, 1973. – 464 с.
2. Алифанов, О. М. Обратные задачи теплообмена / О. М. Алифанов. – М. : Машиностроение, 1988. – 280 с.
3. Пилипенко, Н. В. Методы и приборы нестационарной теплотметрии на основе решения обратных задач теплопроводности / Н. В. Пилипенко. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 180 с.
4. Алифанов, О. М. Регуляризирующие градиентные алгоритмы для решения обратных задач теплопроводности / О. М. Алифанов, С. В. Румянцев // ИФЖ. 1980. – Т. 39., № 2. – С. 253–258.
5. Алифанов, О. М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов / О. М. Алифанов. – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
6. Амосов, А. А. Вычислительные методы для инженеров / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченкова : учеб. пособие. – М. : Высш. шк., 1994. – 544 с.

*Волошко О.В., Вислоух С.П. НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Київ, Україна*

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛІ ПРИ ЇЇ МЕХАНІЧНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Важливою характеристикою експлуатаційної надійності виробів приладо- та машинобудування є забезпечення необхідних параметрів якості поверхневого шару деталей. Цей шар деталі має дуже складну структуру, що значно відрізняється від основного матеріалу.

Основним способом формоутворення деталей є її механічне оброблення шляхом різання матеріалу заготовки. Процес різання неможливий без докладання значних сил з боку різального інструменту, а також появи температурних полів, які призводять до ви-

никнення напружень і деформацій в поверхневому шарі деталі. Очевидно, що технологічні процеси виготовлення деталей, особливо при обробці різанням, безпосередньо впливають на формування їх напружено-деформованого стану. Тому при проектуванні операцій механічного оброблення деталей однією із основних задач є призначення правильних режимів різання. Від режимів різання багато в чому залежить якість оброблюваної поверхні, продуктивність і точність обробки, а також пружно-деформований стан деталі в процесі та після її оброблення. Крім того, нерівномірність розподілу залишкових напруг є однією з головних причин деформації високоточних деталей в процесі їх експлуатації.

Тому до процесу механічної оброблення пред'являють високі вимоги, для забезпечення яких необхідно вирішити ряд практичних задач, які можна розділити на дві великі групи. Першу групу становлять задачі вдосконалення технологічних процесів з підвищення якості деталей, головним чином, шляхом формування необхідних параметрів поверхневого шару і оптимального рівня залишкових напруг, що істотно впливають на довговічність, витривалість та інші характеристики експлуатаційної надійності деталей. До другої групи належать питання підвищення точності і стабільності на всіх етапах виробництва, які можуть бути вирішені застосуванням ефективних методів управління стабільністю виробничих процесів і контролю якості виробів [1].

Найбільшу складність представляє вирішення задач першої групи, тому що на формування структури поверхневого шару має значний вплив явище технологічної спадковості, яке проявляється у впливі маршруту обробки на формування фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, а також похибок обробки. Тобто, на формування властивостей поверхневого шару впливають в тій або іншій мірі всі операції лезвійної обробки технологічного процесу, їх режими, різальний інструмент, характер взаємодії різального інструменту і заготовки тощо.

Двома основними факторами, що впливають на утворення залишкових напружень при лезвійній обробці, є величина сил різання і температурні поля в зоні обробки. Отже, необхідно визначити набір параметрів, що впливають на величину сил різання і температуру, виявити які з них надають найбільше значення, а також якими з них є найбільш доцільним керувати для досягнення поставленої мети [2].

Аналіз наукової літератури дозволив встановити, що керувати параметрами якості поверхневого шару і значеннями пружно-

деформованого стану деталі після її механічного оброблення величиною залишкових деформацій і напружень доцільно за допомогою режимів різання, тобто за допомогою зміни швидкості різання, подачі і глибини різання. Основною перевагою використання цих параметрів, крім того, що вони мають найбільший вплив на формування пружно-деформованого стану деталі, є простота їх зміни технологом, що дозволяє використовувати вже існуючий технологічний процес шляхом його мінімального коригування [3].

Багато з існуючих методик розрахунку сил різання та температури в зоні різання мають ряд обмежень. Основними недоліками експериментальних методів частковий характер залежностей параметрів, використання лише невеликої кількості факторів, що впливають на сили та температуру різання, багато важливих факторів, такі як геометрія інструменту, фізико-механічний стан оброблюваного матеріалу враховуються тільки через поправочні коефіцієнти.

Отримані експериментальним шляхом статистичні формули мають обмежене застосування, тому що результати експериментів не можна переносити на інші процеси, що виходять за межі поставлених дослідів. Кожна експериментальна формула не може бути використана для режимів обробки матеріалів, що мають інші механічні, хімічні та теплофізичні властивості. Крім того, для визначення складових експериментальної формули для нового матеріалу потрібно постановка нової серії великої кількості дослідів, що досить трудомістким і до того ж часом вимагає великих витрат на матеріал. Теоретичні методи через їх велику спільність дозволяють точно визначати взаємозалежний вплив факторів, що впливають на сили різання, але для реальних розрахунків, які використовуються на виробництві такі формули складні. Зокрема в формулах, що представляють теоретичний метод, в явному вигляді не присутня швидкість різання, через що складно отримати зв'язок керованого (сили) і керуючого (режими різання). Ця обставина негативно позначається на можливості використання цієї методики в виробничих умовах.

Методи аналітичного розрахунку залишкових напружень і деформацій складні для ефективного використання в виробничих умовах або мають ряд істотних обмежень. Рішенням даної задачі може стати створення нових розрахункових методів, що базуються на використанні сучасних систем комп'ютерного моделювання та чисельного аналізу, з відповідним науковим узагальненням відомих теоретичних й практичних розробок в даній області. Одним з цих таких чисельних методів є метод скінченних елементів (МСЕ), за-

стосування якого дозволяє з мінімальними витратами часу домагатися потрібних результатів. Головною перевагою МСЕ є точність обчислень, наочність отриманих результатів і висока гнучкість у виконанні розрахунків.

За допомогою МСЕ можна моделювати параметри процесу різання, здійснювати розрахунок напружень, що виникають в деталях, виконувати їх попередню оцінку, прогнозувати можливі деформації, аналізувати геометричну точність деталей і їх придатність для складання й експлуатації. Також даним методом є можливість здійснювати перевірку попередньо розрахованих режимів різання, а також розробляти рекомендації з призначення технологічних умов обробки. Причому все це можна виконати ще на етапі технологічної підготовки виробництва до того, як деталі будуть виготовлені.

Застосування програмних комплексів FEMAP і MSC/NASTRAN for Windows, що базуються на методі кінцевих елементів, дозволяє виконати комп'ютерне моделювання параметрів поверхневого шару деталі під дією силових та температурних навантажень в процесі механічного оброблення деталі та її експлуатації [4, 5].

За результатами порівняння розрахункових та експериментальних значень параметрів поверхневого шару деталей приймається рішення про корегування режимів оброблення деталі, що забезпечують необхідні характеристики якості поверхневого шару.

Література

1. Кирюшин, Д. Е. Повышение производительности торцевого фрезерования титановых сплавов за счёт применения высокоскоростного резания / Д. Е. Кирюшин : дис. канд. техн. наук. – Саратов, 2007. – 204 с.
2. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения. / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Давидюк, Л. П. Формування пружного стану деталей в процесі їх механічної обробки і керування ним режимами різання / Л. П. Давидюк, С. П. Вислоух // Зб. наук. праць X Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнарод. участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент». – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 96 – 99.
4. Voloshko, O. V. Researching of detail's construction with method of final elemental analysis / O. V. Voloshko, S. P. Vysloukh // Перспективні технології та прилади, червень 2019 р., м. Луцьк. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 46–51 с.

5. Волошко, О. В. Технологічне забезпечення параметрів якості поверхневого шару деталі / О. В. Волошко, Л. П. Давидюк, С. П. Вислоух. // Зб. праць VIII Міжнарод. наук.-техн. конф. «Датчики, прилади і системи – 2019», присвяченої пам'яті проф. В. М. Шарапова, вересень 2019 р., Черкаси-Херсон-Лазурне. – Черкаси : ЧГТУ, 2019. – С. 6–8.

*Голякевич А.А., Орлов Л.Н. ООО «ТМ.ВЕЛТЕК», Киев
Артемчук В.В. Днепропетровский национальный
университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна, Днепр, Украина*

САМОЗАЩИТНАЯ ПРОВОЛОКА ВЕЛТЕК-Н351 ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЛЬС

В настоящее время на мировом рынке сварочных материалов сохраняется устойчивая тенденция роста потребления порошковых проволок в различных отраслях промышленности. Одной из таких отраслей является железнодорожный транспорт, где порошковые проволоки широко применяются для сварки металлоконструкций вагонов, а также, восстановительной и упрочняющей ремонтной наплавки изношенных узлов вагонов.

Важнейшим направлением в этой отрасли является ремонт изношенных рельс железнодорожных путей. Поверхность рельсов получает повреждения от движущихся по ним колес за достаточно короткий промежуток времени. В результате износа пары "металл–металл" в поверхностном слое образуются дефекты, которые могут привести к преждевременному износу и поломке рельса. Использование технологии восстановительной наплавки порошковыми проволоками экономически более эффективно по сравнению с заменой рельс.

Целью настоящей работы являлась разработка новой отечественной самозащитной порошковой проволоки малого диаметра, предназначенной для восстановительной наплавки железнодорожных и трамвайных рельс.

Необходимо было достигнуть сочетания хороших сварочно-технологических характеристик проволоки с высокими характеристиками металла сварного соединения, при условии, что данное соединение относится к трудносвариваемым.

В процессе разработки за базу состава проволоки были выбраны газо-шлакообразующая система основного типа в сочетании с системой легирования Al-Ni-Cr-Mo-Mn-Si.

Наплавку образцов проволоки проводили на рельс типа Р65 стали К76Ф (ДСТУ 4344-2004). Режимы наплавки $I_{св} = 220\text{--}240$ А; $U_d = 27$ В, постоянный ток обратной полярности. Скорость сварки – 6–12 м/час.

Выполняли качественную оценку таких сварочно-технологических параметров, как стабильность горения дуги, размер капель и уровень разбрызгивания, покрытие металла шлаком и его отделимость, формирование наплавленного металла, наличие дефектов и уровень выделения сварочного аэрозоля. Сварочно-технологические параметры наплавки ВЕЛТЕК-Н351-О-1,6:

Горение дуги	Стабильное
Уровень разбрызгивания	Незначительное, Ø капель 2,0–2,5 мм
Формирование валика	Переход к основному металлу плавный, без подрезов
Отделимость шлака	Хорошая
Кроющая способность шлака	Хорошая, 90–95%
Дефекты	Отсутствуют
Выделение аэрозоля	Незначительное

Также с помощью твердомера ТД-32 проводили измерения твердости наплавленного металла (табл. 1).

В ходе исследований также изучены микротвердости, макро- и

микроструктуры проб – темплеты с размерами 70×75×30 мм, вырезанные из наплавленного фрагмента рельса (рис. 1).

Уровень микротвердости по сечению образцов, как в области наплавленного металла, так и в основном металле, определен на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 100 г. Результаты замеров микротвердости приведены на рис. 2.



Рис. 1 – Темплет, вырезанный из наплавленного фрагмента рельса, с указанием твердости НВ

Таблица 2 – Твердость наплавленного металла

Марка	Твердость наплавленного металла, НВ	
	1-й слой	2-й слой
ВЕЛТЕК-Н351-О-1,6	480–510	440–450

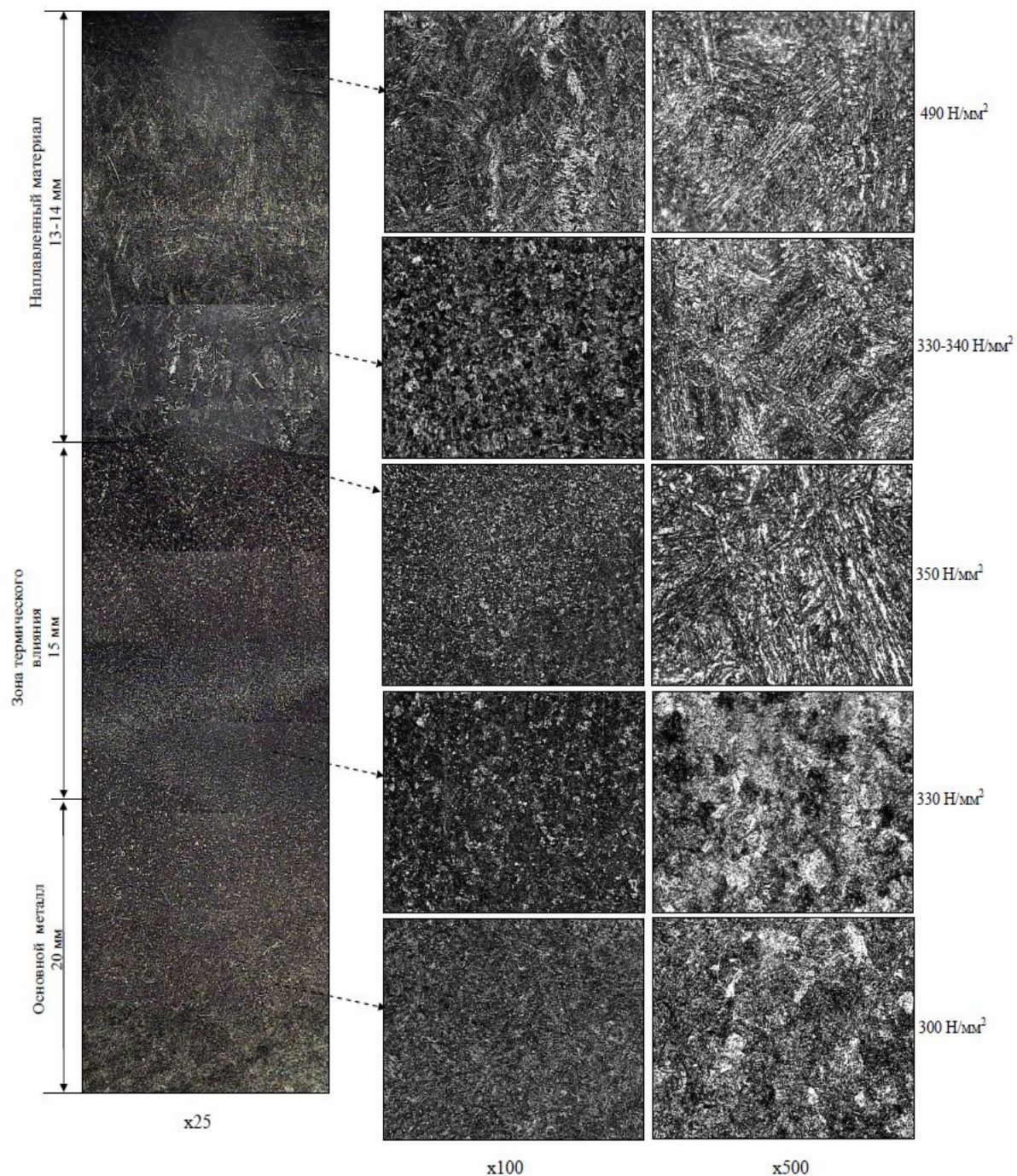


Рис. 2 – Микроструктура темплета с указанием микротвердости

Микроструктура металла образцов изучалась при помощи металлографического микроскопа «Неофот-30» при увеличениях $\times 25$, $\times 100$, $\times 500$. Микроструктура металла наплавленного соединения представляет собой:

- наплавленный слой – троостомартенсит, характеризующийся значениями микротвердости 490 Н/мм^2 , распространяющийся с поверхности на глубину до 1 мм;
- наплавленный слой (на расстоянии от 1,0 мм до 4,0 мм, соответствующему $\frac{1}{2}$ Н слоя, и далее вплоть до линии сплавления) – структура троостита с микротвердостью 340 Н/мм^2 ;
- линия сплавления (13-15 мм от поверхности) - троостит с микротвердостью 350 Н/мм^2 ;
- зона термического влияния – троостит + сорбит, характеризующиеся значениями микротвердости: 330 Н/мм^2 – на расстоянии ≈ 3 мм ниже линии сплавления, 330 Н/мм^2 – на расстоянии ≈ 5 мм ниже линии сплавления;
- основной металл – феррит и перлит с микротвердостью 300 Н/мм^2 (см. рис. 2).

Выводы.

1. С позиции оптимальной технологии изготовления и достижения высоких сварочно-технологических при проведении наплавочных в цеховых и полевых условиях разработана самозащитная порошковая проволока марки ВЕЛТЕК-Н351 основного типа диаметром 1,6 мм.

2. Подобранная система легирования обеспечивает необходимую твердость наплавленного металла 440–510 НВ (1–2 слоя) на рельсовую сталь типа Р65 со стали К76Ф (ДСТУ 4344-2004) в сочетании с благоприятной структурой наплавленного соединения.

*Голякевич А.А., Орлов Л.Н. ООО «ТМ.Велтек»,
Максимов С.Ю., Кражановский Д.Н. Институт
электросварки им. Е.О. Патона
НАН Украины, Киев, Украина*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВАРКИ МЕТАЛЛОПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-ТМВ-МК5

В настоящее время на мировом рынке сварочных материалов сохраняется устойчивая тенденция роста потребления металлопорошковых проволок для механизированной и роботизированной сварки в смеси газов $82\text{Ar} + 18\text{CO}_2$ углеродистых конструкционных и судовых сталей. Металлопорошковая проволока успешно конку-

рирует со сплошными и шовными порошковыми проволоками основного и рутилового типа. Преимущества металлопорошковой проволоки достигаются большим выходом металла 95-94%, высокой стабильностью и производительностью процесса, минимальным образованием шлака и отсутствием необходимости его удаления, возможностью устойчивых повторных стартов, высокой стойкостью к порообразованию при сварке по грунту, низким разбрызгиванием и выделением сварочного аэрозоля, хорошим формированием шва и высокими механическими свойствами сварного соединения и низким содержанием водорода в металле шва. К недостаткам относятся ограничения при сварке вертикальных швов преимущественно способом сверху-вниз ультракороткой дугой металла толщиной 3–5 мм.

Целью настоящей работы являлось уточнить условия реализации преимуществ металлопорошковой проволоки ПП-ТМВ-МК5 путем оптимизации режимов сварки в смеси аргона и углекислого газа.

Легкая адаптация металлопорошковой проволоки при сварке металлоконструкций возможна при высокой стабильности процесса, хорошего формирования сварного шва в диапазоне реализуемых режимов, отсутствия брызг в околошовной зоне. В связи с вышеизложенным, проведена количественная оценка кинетики плавления порошковой проволоки и перехода расплавленного металла в сварочную ванну, стабильности процесса горения сварочной дуги и формирования шва.

Контроль электрических параметров процесса сварки выполнялся с применением информационно-измерительной системы (ИИС) на базе персонального компьютера и модуля аналогового ввода. Характер переноса металла оценивали по длительности коротких замыканий $\tau_{к.з.}$, их количеству $N_{к.з.}$ и частоте $f_{к.з.}$. Анализ особенностей горения дуги производили по гистограммам напряжения дуги и тока сварки с помощью метода поэтапной обработки многомодальных распределений. В этом случае для каждого отдельного участка гистограммы определялись количество событий (измерений) n , среднее значение параметра $\bar{x}$, дисперсия σ и коэффициент вариации по напряжению и току Kv_U и Kv_I .

Минимизация разбрызгивания металла в значительной мере определяются содержанием комплекса стабилизаторов и уровня микролегирования в составе сердечника металлопорошковой проволоки. Общеизвестным остается влияние режимов сварки на кинетику

плавления проволок в защитном газе. В связи с этим проведена оптимизация диапазона напряжения дуги для выбранных значений по величине Kv_U и Kv_I (рис. 1)

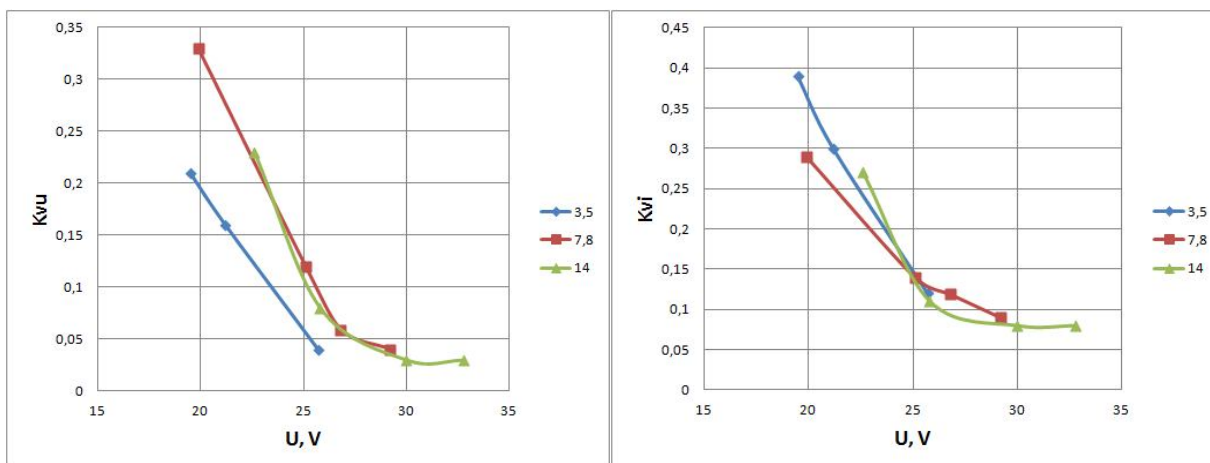


Рис. 1 – Влияние напряжения сварки на коэффициенты вариации по току и напряжению для разных скоростей подачи проволоки (м/мин)

С целью уточнения возможности сварки проволокой ТМВ-МК5 диаметром 1,2 мм проведены измерения в диапазоне режимов по току в пределах 130–350 А. Определены значения напряжения дуги для реализации процесса сварки ультракороткой дугой, для которых характерна высокая частота коротких замыканий и снижение погонной энергии сварки. При этом $Kv_U \leq 0,3$ и $Kv_I \leq 0,3$.

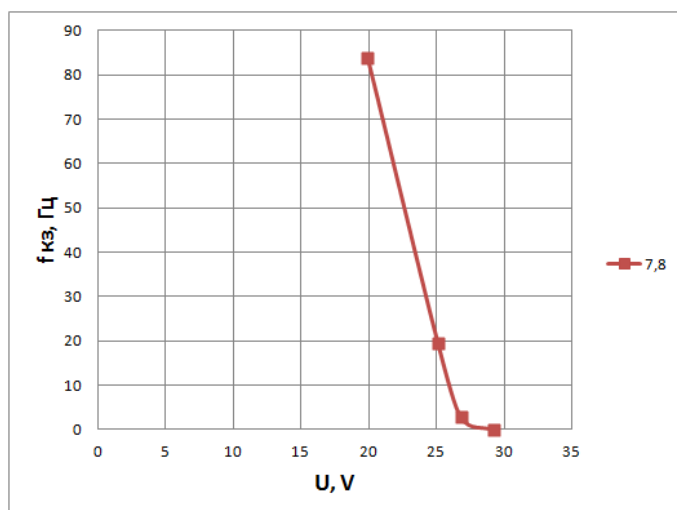


Рис. 2 – Влияние напряжения дуги на частоту коротких замыканий (для режима сварки со скоростью подачи проволоки 7,8 м/мин)

Переход к процессу с высокой стабильностью ($Kv_I \leq 0,1$; $Kv_U \leq 0,04$) связан с необходимостью определения напряжения дуги, соответствующего этим значениям. Для каждого значения тока определено критическое значение напряжения дуги, при котором процесс сварки характеризуется началом процесса с минимальным разбрызгиванием (рис. 2).

Снижение напряжения дуги ниже критического значения приводит к увеличению потерь на разбрызгивание. По мере снижения напряжения дуги повышается частота коротких замыканий,

т.е. увеличивается количество капель, переходящих в сварочную ванну после из соприкосновения с поверхностью сварочной ванны.

При повышении напряжения дуги выше критического значения сохраняется высокая стабильность процесса $Kv_I \leq 0,1$ и $Kv_U \leq 0,04$ и минимальное разбрызгивание металла, изменяется формирование шва и проплавление металла.

Оптимизация режимов сварки позволяет сохранить преимущества металлпорошковой проволоки ПП-ТМВ-МК5 при оптимальном тепловложении в сварочную ванну.

Гуцаленко Ю.Г., Пупань Л.І., Севидова О.К.
Національний технічний університет «ХПІ»,
Харків, Україна

ВПЛИВ МОРФОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИВІВ ПЛАЗМОЕЛЕКТРОЛІТНОГО ОКСИДУВАННЯ НА АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВАХ

Зв'язок пористості як структурної складової поверхні покриттів плазмоелектролітним оксидуванням (ПЕО-покриви) з їх діелектричними властивостями, які є визначальними зокрема у застосуванні алмазно-абразивних інструментів з ПЕО-покривами посадкових поверхонь та прямим струмопідведенням в процесах алмазно-іскрового шліфування (АІШ), мало вивчений.

При використанні ПЕО-покривів з метою електроізоляції слід очікувати, що наявність пористості, зокрема наскрізної, може погіршити діелектричні властивості. В першу чергу це відноситься до показника електричної міцності, оскільки для повітря він набагато менший, ніж для основної субстанції.

Метою виконаних досліджень була оцінка впливу наскрізної пористості на діелектричні характеристики залежно від режиму формування алюмооксидних ПЕО-покривів.

В якості досліджуваних експериментальних зразків-свідків використовували виготовлені з деформівного алюмінієвого сплаву Д16Т, який зазвичай застосовують у корпусах алмазно-абразивних інструментів АІШ.

Для отримання електроізоляційних покривів зразки оксидувались на лабораторній установці з використанням гальваностатичного (ГС) електричного режиму на випрямленому анодному струмі. Основною перевагою ГС режиму є висока продуктивність, тобто висока швидкість нарощування функціонально-захисних покривів, яку контролюють густиною струму.

Плазмоелектролітне оксидування проводили у різних за складом розчинів електролітів лужно-силікатної групи – технічного розчину натрієвого рідкого скла (силікатного) – РС, технічного розчину натрієвого рідкого скла та луги (КОН + РС) за відповідними концентраціями компонентів: 12 г/л РС; 2 г/л КОН + 12 г/л РС; 1 г/л КОН + 6 г/л РС (відповідно розчини 0:12; 2:12; 1:6).

Вибір у дослідженнях електричних режимів та густоти струму (j , А/дм²) здійснювали на основі аналізу літературних даних та з врахуванням особистого досвіду.

Промиті та висушені зразки досліджували за допомогою мікроскопа USB Supereyes B008 для отримання узагальненої інформації щодо відносної кількості пор та їх розподілення за поверхнею; використане збільшення – 30–80 крат. Додатково для виявлення особливостей форми, структури, розміру пор проводились дослідження за допомогою електронного скануючого мікроскопа JEOLJSM-840 за збільшенням 200–2000 крат.

В якості показників діелектричних властивостей МДО-покривів використовували питомий об'ємний електричний опір (ρ_v , Ом·м), а також електричну міцність покривів (E , В/мкм).

Визначення ρ_v та E проводили з використанням електричних вимірювань на за єдиною схемою підключення гольчатих електродів на дослідних зразках у відповідності зі стандартною методикою. Для вимірів використовували тераомметр Е6-13 з робочою напругою 100 В та високовольтний трансформатор із захисним опірором 5 кОм.

Візуалізацію характерної морфології ПЕО-покривів сплавів алюмінію, зокрема Д16Т, за єдиною системою експериментальних умов проводили конвенціональною оптичною та електронною скануючою мікроскопією.

Аналіз даних мікроскопічного дослідження поверхні ізоляційних покривів, сформованих в гальваностатичному режимі в різних електролітах за ідентичних значеннях j , дозволяє зробити певні узагальнення.

Зокрема, найменшою регулярною наскрізною пористістю характеризуються ПЕО-покриви, сформовані в технічному розчині 0:12. Осади контактної міді, вихід якої на поверхню є безпосередньою ознакою наскрізного характеру пор, спостерігаються лише в окремих кратерних структурних елементах досить великих розмірів 10–15 мкм, які, ймовірно, утворюються під час зриву мікродугового розряду в дуговий.

На покритвах, сформованих в розчині 2:12, за всією поверхнею фіксується велика кількість системних відкритих пор розміром 2–10 мкм і включень міді 3–6 мкм, що свідчать про наявність наскрізної пористості. Відкрита пористість, поряд з наскрізною, є також можливим негативним чинником, що впливає на діелектричні властивості. Різна форма відкритих пор (округла, овальна, неправильна) може свідчити про нелінійний характер поширення пор за товщиною покриттів, а також про різний ступінь їх зарощування. Порівняно з поверхнею покриттів із розчину 0:12 осади міді на зразках, окисдованих в розчині 2:12, розташовані більш рівномірно.

Відносно меншою (за кількістю і лінійним розміром) відкритою пористістю характеризуються оксидні шари, сформовані в розчині 1:6. Включення міді відповідно теж менші за розміром – до 1 мкм. Слід зазначити, що товщина покриттів у цьому електроліті є найменшою і складає 37 мкм (43 і 44 мкм відповідно в розчинах 0:12 і 2:12). Цей фактор теж в певній мірі впливає на показник наскрізної пористості, зокрема, погіршує його.

Загалом, якщо оцінювати якість поверхні покриттів за відотною кількістю та розміром пор, можна зробити висновок, що наскрізна пористість зростає в ряду розчинів: 0:12 < 1:6 < 2:12.

Аналіз мікрознімків, які відображають стан поверхні покриттів, сформованих в ГС режимі за різних значеннях j , показує, що в кожному електроліті наскрізна пористість збільшується із зростанням величини j від 5 до 15 А/дм².

Доказом тому є збільшена кількість осередків та сумарна площа контактно виділеної міді. Найбільша пористість (та, відповідно, кількість і розмір виділень контактної міді) характерні для зразків, покрити на яких були сформовані в електроліті 2:12. Пори займають майже третину поверхні при збільшенні j до 15 А/дм².

Найменше відносне зростання пористості зі збільшенням j спостерігається в зразках, окисдованих в розчині натрієвого рідкого скла (0:12).

Таким чином, склад електроліту є переважним фактором, що впливає на формування наскрізної пористості.

Як свідчать отримані залежності, спостерігається досить суттєва залежність ρ_v від складу електроліту: найбільші значення характерні для покриттів, сформованих у розчині 0:12, найменші – для покриттів, що були отримані електролітним оксидуванням у розчині 2:12.

Ці дані якісно корелюють з наведеними тут результатами мікроскопічних досліджень ПЕО-покриттів.

Аналіз значень ρ_v покриттів, сформованих в ГС-режимі за різних значень j , показує, що ρ_v майже не залежить від цього показника. Зменшення ρ_v для покриттів, отриманих у розчині 0:12, у межах похибки. Незначна тенденція зменшення ρ_v з ростом j для зразків, що оксидувались у розчинах 1:6 та 2:12, скоріше за все, пов'язана зі збільшенням кількості пор.

Характер зміни E залежно від досліджуваних чинників (складу електроліту та j) має певну аналогію з відповідними залежностями ρ_v , а також якісно корелює з результатами мікроскопічного аналізу.

Зокрема, більш відчутно показник E реагує на якісний та кількісний склад електроліту. Найменші значення показників максимальної напруги пробою i , відповідно, E визначено на ПЕО-покривах, отриманих у більш концентрованому електроліті 2:12, де зафіксована найбільша кількість наскрізних пор. Відносно більші значення E та ρ_v характерні для покриттів, сформованих у силікатному (0:12) та розведеному лужно-силікатному (1:6) розчинах, де кількість наскрізних пор менша порівняно зі зразками, оксидованими у розчині 2:12.

Проведені дослідження та їх аналіз показали, що спостерігається якісна кореляція характеру наскрізної пористості у покритвах, сформованих плазмо-електролітним оксидуванням на поверхні сплаву Д16Т, з їх діелектричними властивостями.

Збільшена наскрізна пористість покриттів, отриманих в гальваностатичному режимі в електроліті 2:12 (2 г/л КОН + 12 г/л РС), є однією з відповідальних причин їх більш слабких діелектричних властивостей – найменших значень E та ρ_v .

Покритви, сформовані в технічному розчині натрієвого рідкого скла 0:12 (12 г/л РС), мають найкращі показники діелектричних властивостей, що відповідає найменшій наскрізній пористості цих зразків.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗРОБКИ МІЖНАРОДНОГО СТАНДАРТУ

Використання стандартизації, як засобу забезпечення сумісності, взаємозамінності, уніфікації, надійності техніки та інформаційних мереж, норм безпеки та екологічних вимог, єдності характеристик і властивостей, якості техніки, робіт та послуг дозволяє отримати впорядкованість в певній сфері.

Участь у міжнародній стандартизації:

- запобігає появі стандартів, що суперечать власним інтересам українських компаній;
- запобігає появі суперечливих стандартів для української промисловості, тобто розв'язує галузеві технічні проблеми;
- надає можливість слідкувати за технічними знаннями інших компаній, тобто дає вихід за межу непередбачених знань через нові знання, отриманні під час неофіційного обговорення на засіданнях, а значить дає перевагу над конкурентами;
- надає можливість відкриття нових ринків, постачальників та покупців;
- сприяє сумісності та взаємозамінності з іншими виробниками компонентів частин продукції.

Одним з найважливіших методів стандартизації є уніфікація, яка встановлює мінімальне необхідне для практики число видів та типорозмірів техніки, яка має високу якість та повну взаємозамінність. Її основою є систематизація, тобто розподілення техніки у визначеному порядку та послідовності, що утворює чітку систему, зручну для використання.

Наприклад, розробка умовних позначень для сцинтиляційної техніки, яка вмістила в собі наступні етапи:

- аналізування актуальності розробки стандарту для уніфікації параметрів сцинтиляційної техніки,
- знаходження ефективності розвитку та проведення мультиплікативного прогнозування її галузей,
- прийняття рішення щодо доцільності розробки випереджувального стандарту,

- розробку концепції створення умовних позначень, розробка методу уніфікації параметрів цієї техніки,
- проведення уніфікації параметрів сцинтиляційної техніки та розробка умовних позначень для неї,
- те, що схематично наведено на рис. 1, дозволило стандартизувати номенклатуру сцинтиляційної техніки, шляхом розміщення позначень її параметрів в строгому порядку від основних параметрів до другорядних, дозволила внести впорядкованість в систему її ідентифікації для сприяння правильному вибору техніки споживачем.

Розроблені умовні позначення сцинтиляційної техніки було включено до міжнародного стандарту ІЕС 60412 Ed.3, що надало можливість ідентифікувати усі наявні та майбутні типи сцинтиляційної техніки для однозначного сприймання її споживачем та виробниками. Стандарт дозволяє ідентифікувати сцинтиляційну техніку, які з'являться з часом та є випереджувальним.

На сьогодні розроблений стандарт ІЕС 60412:2014 Ed.3 використовують по всьому світу. Стандарт гармонізовано у країнах Європейського Союзу, Об'єднаних Арабських Еміратах, Королівстві Саудівська Аравія, Кувейті тощо.

А з огляду на те, що більшість стандартів вводяться в Україні навіть без перекладу їх тексту на українську мову відповідно до наказу № 224 від 16 листопада 2011 року Міністерство економічного розвитку і торгівлі України «Про затвердження Концепції Впровадження стандартів Європейського Союзу за методом «обкладинки», то сьогодні як ніколи дуже важливо брати активну участь технічних комітетів України на рівні розробки стандартів, активно працюючи в підкомітетах і групах міжнародних організацій по стандартизації, розробляючи нові проекти міжнародних стандартів і надавая свої зауваження по кожному проекту, що розробляється, ще на рівні їх обговорення, щоб вони могли бути розглянуті на засіданнях груп та враховані.

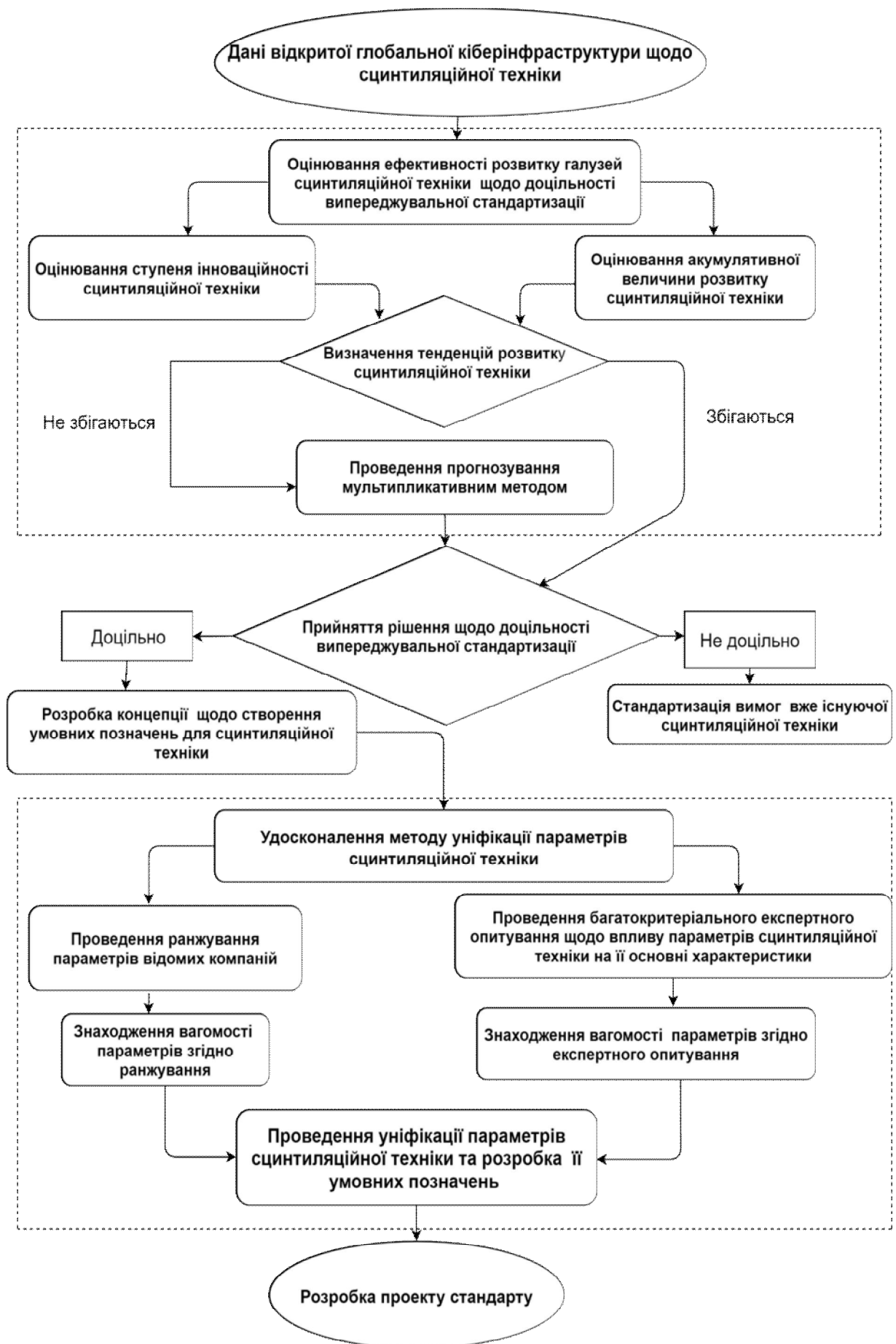


Рис. 1 – Узагальнений алгоритм розробки стандарту на умовні позначення для сцинтиляційної техніки

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Прогрес нових технологічних процесів в умовах роботи гнучких автоматизованих систем та точного машинобудування та приладобудування вимагає підвищення точності виготовлення деталей та надійності супутнього контролю процесу металообробки [1, 2]. Контроль металообробного обладнання та робочого інструменту може бути проведений за допомогою прямих чи посередніх методів, які засновані на вимірюванні фізичних явищ, які утворює зона обробки матеріалу. В залежності від конкретного фізичного явища покладеного у принцип роботи системи контролю різального інструменту отримується і ступінь точності та надійності контролю. Методи прямого контролю дозволяють безпосередньо отримувати виміри абсолютних значень зносу інструменту та розмірів деталі.

Задача яка виникає при контролі точності механічної обробки є визначення величин деформацій деталі під дією різального інструменту. Основна причина необхідності у подібних теоретичних і як наслідок практичних розрахунків є те, що для того щоб скоригувати первинну форму деталі треба виконати низку умов стосовно траєкторії руху інструменту. У супротивному випадку деформації деталі будуть такими, що досягти бажаної форми а тим більше точності буде неможливо.

Це питання вирішується за допомогою створення автоматизованої системи керування точністю механічної обробки. Отримані математичні моделі, розроблені алгоритми керування і рекомендації по створенню системи керування дають можливість розробити автоматизовану систему керування точністю механічної обробки деталей. Розроблена математична модель, дозволяє прогнозувати максимальні відхилення форми нежорстких валів залежно від їх розмірів, жорсткості і прийнятих режимів різання, та забезпечити задану точність валів безпосередньо в процесі їх обробки на оброблювальних центрах.

Література

1. Діордіца, І. М. Повышение точности деталей сложной формы на токарных обрабатывающих центрах. Сучасні технології у машинобудуванні: До ювілею Ф. Я. Якубова: 36. наук, статей / І. М. Діордіца, В. А. Остафьев; за ред. А. І. Грабченко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – С. 422–430.

2.. Determination of Cylindrical Shape Parts With Solid Proces. in Automat. Mode / G. S. Tymchik, I. M. Diorditsa, V. I. Skytsyuk et al. // XII Internat. PhD Workshop OWD 2010. Under the auspices of Deans of Electrical, Electronic and Computer Science Faculties of Engineering, IEE – The Inst. of Eng. and Techn. IEEE – Inst. of Electr. and Electron. Eng. – Polish Section. – P. 116–120.

*Довгаль А.Г., Тамаргазин О.А., Приймак Л.Б.,
Варюхно В.В. Национальный авиационный
университет, Киев, Украина*

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАЩИТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЙ АЭРОПОРТОВ

Основные проблемы эксплуатации самоходных посадочных трапов серии ABS 580 фирмы TLD, заключаются в особенности компоновки и работы их рабочего органа, а именно двусекционного ступенчатого марша. Специальное оборудование трапа представляет собой две секции лестничных маршей: неподвижная секция, наклон которой регулируется гидравлическими цилиндрами (рис. 1, а) и подвижная выдвижная секция, которая перемещается вдоль неподвижной и на нужной высоте фиксируется посредством замковых фиксаторов (рис. 1, б).

Замковый фиксатор состоит из механизма привода и выдвижного зуба, который обычно изготавливается из легированной закаляемой стали. Выдвижной зуб фиксатора заходит в соответствующий крюк приваренный к раме выдвижной секции, которая обычно изготавливается из конструкционной стали и приваривается к основе на расстоянии одной ступеньки.

На рис. 1 показана основная проблема эксплуатации самоходных пассажирских трапов TLD ABS 580, это избыточное изнашивание

крюков на выдвижной секции самоходного посадочного трапа. Слой краски мгновенно изнашивается, и продукты коррозии вступают в еще больший процесс изнашивания пары трения. Очевидно, что нагрузка на крючки будет тем больше, чем больше выдвинута секция трапа, а, следовательно, нижние крючки будут изнашиваться интенсивнее. По свидетельствам инженерного состава хендлинговой компании избыточный износ фиксирующих крюков приводит к избыточным колебаниям, что пугает пассажиров, а иногда и существенно повреждает элементы конструкции воздушного судна (ВС).



Рис. 1 – Результат избыточного изнашивания опорных зубов фиксации секции самоходного пассажирского трапа ABS 580 фирмы TLD:
а – изнашивание правой стороны; *б* – изнашивание левой стороны

Нагруженный участок контактного зуба может быть защищена покрытиями из композиции на основе никель-алюминиевого интерметаллида, который хорошо зарекомендовал себя в качестве защитных композиций [1, 2].

Для исследования структурообразования и износостойкости ВВТН-покрытий (высокоскоростного воздушнотопливного напыления) использовали исходные образцы из конструкционных сталей, из которых изготавливают крюки верхней секции самоходного пассажирского трапа Сталь 45 (ГОСТ 380-2005) для изготовления цилиндров (20×25) совместимых для испытаний на серийной машине трения МФК-1, и контртело из стали ХВГ (ГОСТ 5950-2000). Для получения шихты для нанесения покрытия использовали интерметаллид ПНЮ15 (ГОСТ 21 448-75) средним размером 45–55 мкм.

Покрытие наносили методом высокошвидкісного повітряно-паливного напылення (ВППН) горелкой «Град-В» на универсальном термоструйном стенде ИПМ НАНУ (рис. 2). Напыление выпол-

лняли в топливной паре воздух керосин при соотношении компонентов близкому к стехиометрическому и давлении в камере сгорания $P_{кс} = 1,0$ МПа, расход топливной смеси составляла 20-46 г/с, расход порошка 1,9 – 2,5 г/с.

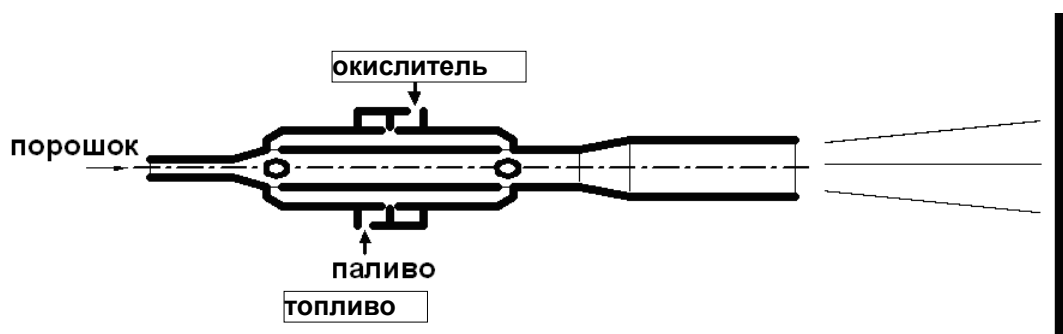


Рис. 2 – Схема нанесения покрытия горелкой для высокоскоростного воздушно-топливного напыления двухкамерной схемы Град-В универсального термоструйного стенда ИПМ НАНУ

Структура ВВТН-покрытия на стали Сталь 45 (ГОСТ 380 – 2005) отличается наличием четкой поверхности раздела подкладки и покрытием 140–150 мкм толщиной.

Структура исходного порошка для покрытия ПНЮ15 (ГОСТ 21 448-75) обычно состоит по большей части из интерметаллида в четком стехиометричном соотношении Ni_3Al . Однако в результате термической активации и диффузионного взаимодействия с железом стальной подложки происходит частичное разложение интерметаллида и отклонение от стехиометричного соотношения в сторону твердых растворов с меньшей частью никеля за счет неограниченной растворимости никеля, в родственном к нему по группе железе даже обезображенного углеродом (рис. 3), результаты МРСА представлены в табл. 1. Общая морфология покрытия представляет собой двухфазную пористую (около 7%) систему с четкой границей раздела от стальной подкладки, о составе и процессах структурообразования покрытия исчерпывающую информацию должны дать результаты рентгенофазового и рентгеноспектрального анализов.

Таким образом на стальной подложке (спектр 6) при указанных режимах нанесения осаждается двухфазная структура из матрицы твердого раствора никеля в железе (спектры 2 и 5, табл. 1), который выполняет коррозионно-устойчивую функцию, и включений стехиометрического состава интерметаллида Ni_3Al , который является упрочняющей фазой. При увеличении расхода топливно-воздушной смеси было получено покрытие, структура которого приведена на рис. 4 (результаты МРСА – в табл. 2).

Таблица 1 – Результаты МРСА к рис. 3 (в весовых %)

Спектр	C	P	Al	O	Ni	S	Fe	W	Итог
1	7,96	-	15,86	1,81	74,36	-	-	-	100,00
2	17,47	1,43	-	1,36	22,66	2,04	55,04	-	
3	8,31	-	16,67	1,39	73,63	-	-	-	
4	8,92	-	16,37	0,99	71,69	-	2,02	-	
5	6,23	-	-	1,99	21,65	2,66	66,05	1,43	
6	1,581	-	-	-	-	-	98,41	-	
Макс.	17,47	1,43	16,67	1,99	74,36	2,66	98,41	1,43	
Мин.	6,23	1,43	15,86	0,99	21,65	2,04	2,02	1,43	

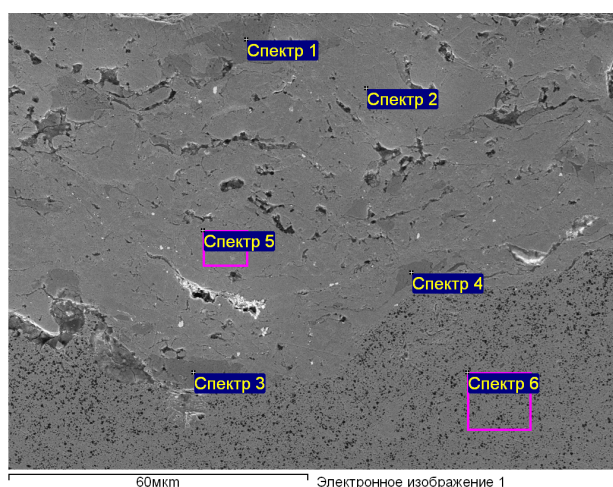


Рис. 3 – Структура ВВТН-покрытия на стали 45 при режиме нанесения расход топливной смеси 20 г/с, расход порошка 2,5 г/с

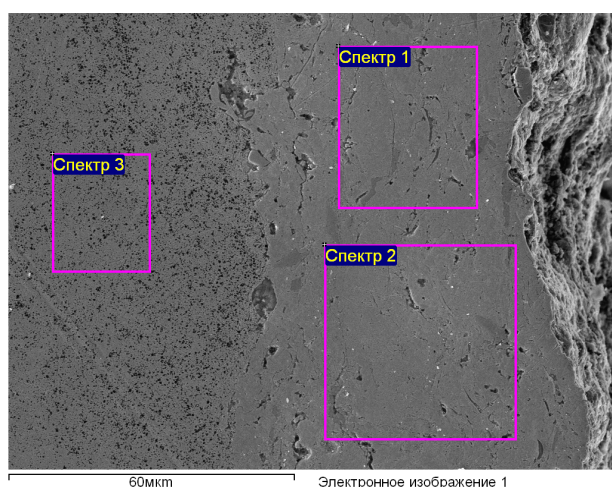


Рис. 4 – Структура ВВТН-покрытия на стали 45 при режиме нанесения: расход топливной смеси 40 г/с, расход порошка 2,5 г/с

Таблица 2 – Результаты МРСА к рис. 4(в весовых %)

Спектр	C	P	Al	O	Ni	S	Fe	W	Итог
1	7,47	1,43	-	1,36	22,66	2,04	65,04	-	100,00
2	6,73	-	-	2,91	21,65	2,66	66,05	1,43	
3	1,451	-	-	-	-	-	98,54	-	
Макс.	7,47	1,43	00,00	2,91	22,66	2,66	98,54	1,43	
Миню	1,451	1,43	00,00	1,36	21,65	2,04	65,04	1,43	

Толщина покрытия варьируется от 50 до 60 мкм и имеет четкую поверхность раздела на два участка стали 45 (спектр 3) и почти гомогенное пористое покрытие, с пористостью около 5% (рис. 4, табл. 2). Микрорентгеноспектральный анализ участков покрытия позволяет констатировать, что покрытие при таком режиме нанесения превра-

щается в подкисленный и насыщенный углеродом (спектры 1 и 2, табл. 2.) (повидимому из топливно-воздушной смеси ВВТН-струи) твердые растворы никеля в железе (который имеет неограниченную растворимость в твердом состоянии). Следовательно, при увеличении затраты топливно-воздушной смеси в два раза происходит разложение интерметаллида и выжигание более легкоплавкого алюминия и лишь небольшая частица никеля достигает поверхности подложки и смешиваясь с железом образует модифицированный слой с четкой границей разделения.

Следовательно, увеличение расхода топливно-воздушной смеси в сверхзвуковом сопле установки «Град-М» является нецелесообразным, а есть смысл варьировать расходом порошковой смеси (имея в виде тот факт, что осаждение интерметаллида на подложку составляет не более 50% от общего исходной подачи).

При уменьшении расхода топливно-воздушной смеси до 30 г/с и порошка интерметаллида до 2,0 г/с получено покрытие структура которого показана на рис. 5 (результаты МРСА – в табл. 3).

Нужно отметить, что при таких режимах нанесения произошло существенное увеличение сплошности покрытия (пористость менее 1%), Существенно улучшаются адгезионные характеристики – граница перехода «покрытие-подложка» почти бездефектная, и может быть определена получением линейной серии спектров от 1 до 8. Так спектры 1–4 (рис. 5, табл. 3) отвечают структуре стали 45, поверхность которой (спектр 5) несколько подкислена и с диффузионным проникновением алюминия (рис. 5, табл. 3). Дальше от линии разделения наблюдаются матрица из твердого раствора железа в никеле (спектры 6–8) подкисленные с примесями углерода и сбереженного больше чем 1% алюминия (рис. 5, табл. 3).

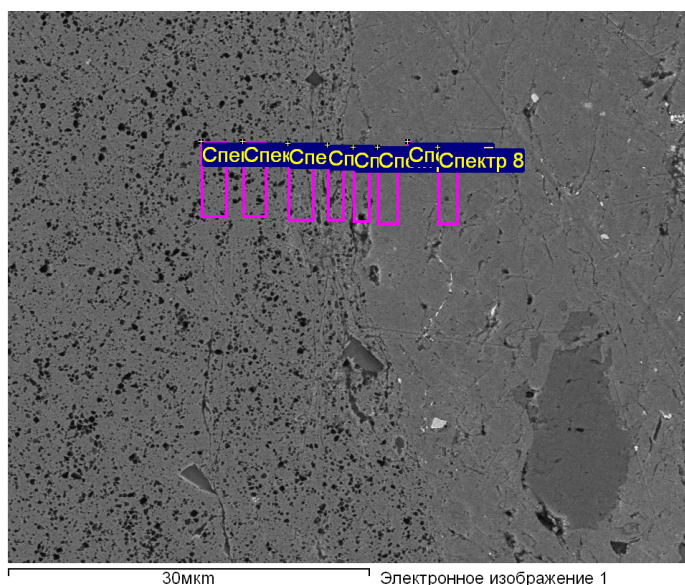


Рис. 5 – Структура ВВТН-покрытия на стали 45 при режиме нанесения: расход топливной смеси 30 г/с, расход порошка 2,0 г/с

Таблица 3 – Результаты МРСА к рис. 5

Спектр	Ni	C	P	O	S	Al	Mn	Fe
1	-	1, 45	-	-	-	-	-	98, 55
2	-	1, 01	-	-	-	-	-	98, 99
3	-	1, 82	-	-	-	-	-	98, 18
4	-	1, 06	-	-	-	-	-	98, 94
5	-	1, 65	-	2, 41	-	1, 91	-	94, 03
6	67, 11	0, 89	-	2, 89	-	1, 45	-	27, 66
7	67, 56	0, 44	-	1, 57	-	1, 86	-	28, 57
8	70, 06	0, 25	-	3, 01	-	1, 12	0, 00	25, 56
Макс.	70, 06	1, 82	0, 00	3, 01	0, 00	1, 91	0, 00	98, 99
Мин.	67, 11	0, 25	0, 00	1, 57	0, 00	1, 12	0, 00	25, 56

Серое пятно в нижнем углу справа рис. 5. представляет собой стехиометрическое соотношение интерметаллида исходного порошка Ni_3Al , что свидетельствует о сохранении в ВВТН-струе с такими характеристиками частиц размером до 25 мкм (в сравнении с 45–55 мкм исходного размера).

Исследование формирования порошковой композиции ПНЮ15 (ГОСТ 21448-75) на конструкционные стали 45 методом высокоскоростного воздушно-топливного нанесения показало, что структура покрытий очень чувствительна к технологическим режимам нанесения. Поэтому представляет интерес изучение влияния таких особенностей структуры покрытий на износостойкость, упрочнение и продолжение ресурса замковых фиксаторов двухсекционных самоходных посадочных пассажирских трапов.

Выводы. В результате нанесения методом ВВТН монокомпонентной композиции из порошка ПНЮ15 (ГОСТ 21448-75), которая состоит в основном из интерметаллида Ni_3Al в четком стехиометрическом соотношении, получено износостойкое покрытие на поверхности легированной стали 45. Исследована его структура методами электромикроскопического, микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализов. Установлено, что структура покрытия состоит из матрицы твердого раствора железа в никеле, с включениями интерметаллида Ni_3Al . Состав и концентрация структурных составляющих в покрытии чувствительны к технологическим режимам его нанесения, что обуславливает широкий спектр возможностей для оптимизации эксплуатационных свойств.

Литература

1. Довгаль, А. Г. Разработка газотермических карбидокремниевых покрытий с повышенным уровнем износостойкости / А. Г. Довгаль, О. С. Вронская, А. Д. Костенко // Проблемы трибології. – 2013. – № 4. – С. 33–39.

2. Umanskii, A. P. Structure and Wear Regularities of Coatings from Composite Metal-Ceramic Materials of the SiC–Al₂O₃–Ni–Al System / A. P. Umanskii, A. G. Dovgal', V. M. Kisel', Yu. I. Evdokimenko // J. of Superhard Mat. – 2012. – Vol. 34. – № 2. – P. 110–117.

Долгов Н.А., Рутковский А.В. Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины
Кривошея А.В. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины
Мельник В.Е. Государственный НИИ МВД Украины, Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Многообразие различных классов, типов и видов зубчатых передач, расширение сфер применения и предназначения, необходимость повышения функциональных, эксплуатационных, энергетических, экономических, экологических (шум и вибрации) и массогабаритных показателей требует разработки более совершенных подходов к их проектированию и разработке технологий их изготовления.

Повышение эксплуатационных, экологических (шум) показателей зубчатых передач (повышение нагрузочной способности, долговечности, надежности, снижения коэффициента трения и др.) требует применения зубчатых колес повышенной точности и оптимального состояния поверхностного слоя (твердость и шероховатость). Как точность, так и состояние рабочей поверхности зубчатых венцов определяется их термообработкой и технологией изготовления. Традиционные высокотемпературные способы химико-термического упрочнения (цементация, закалка) приводят к значительному (на 1–2 степени) снижению точности зубчатых колес. Поэтому для обеспечения высокого качества термоупрочненных зубчатых колес (даже 6–7 степеней точности), которую можно достичь

с помощью механической обработки, необходимо использовать после их термообработки дорогостоящую операцию зубошлифования. Одна из прогрессивных технологий поверхностного упрочнения – ионное азотирование. Этот процесс в несколько раз сокращает трудоемкость упрочнения, так как детали обрабатываются при невысокой твердости материала и поступают на химико-термическую обработку с окончательными размерами и точностью. По сравнению с другими видами азотирования ионное обеспечивает большую глубину упрочненного слоя. Деформация деталей при азотировании фактически отсутствует, что позволяет заменить окончательное зубошлифование зубчатых колес для 6-ой степени точности на хонингование с сохранением требуемой точности и формированием равномерного высокопрочного поверхностного слоя [1].

Другим важным направлением повышения работоспособности зубчатых колес является снижение шероховатости поверхности их рабочих частей, которые подвергаются наиболее интенсивному износу в процессе эксплуатации. Для оценки изменения параметров шероховатости после вакуумного плазменного термоциклического азотирования были проведены исследования на образцах из стали 18 ХГТ, используемой для изготовления зубчатых колес. Для азотирования образцов использовали установку «ВИПА-1». В процессе термоциклической обработки происходит циклическая смена напряженного состояния на поверхности за счет импульсов малой продолжительности и большой амплитуды. В результате обработки формируется равномерный диффузионный слой глубиной до 0,5 мм.

Обработку осуществляли в смеси газов азота и аргона (в соотношении 0,7:0,3) при термоциклическом режиме ($450\text{ }^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 550\text{ }^{\circ}\text{C}$) при различной длительности азотирования. Процесс насыщения азотом проводили в камере с использованием вакуумно-плазменного нагрева. Температуру в процессе обработки измеряли оптическим пирометром.

Вакуумному плазменному термоциклическому азотированию подвергали прямоугольные образцы размером $20 \times 10 \times 5\text{ мм}^3$. Перед азотированием обрабатываемую поверхность подвергали чистовому шлифованию. Шероховатость поверхности исследовали в соответствии со стандартом ISO-4287 на профилометре ПМ-10 (рис. 1).

Шероховатость варьировалась от образца к образцу и в среднем составляла $Rz\ 2,03 \pm 5\%$. Измерения показали, что на модифицированной поверхности образцов из стали 18 ХГТ при небольшой длительности процесса упрочнения шероховатость повышается незначительно в пределах допуска (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние длительности процесса на шероховатость поверхности (ISO-4287)

Длительность обработки, ч	R_z , мкм	R_p , мкм	R_p/R_z
до обработки	2,03	0,81	0,40
2	1,82	0,53	0,29
4	1,94	0,61	0,31
6	2,25	0,87	0,39
8	2,53	1,03	0,41

Проведенные в работе исследования показали высокую эффективность процесса вакуумного термоциклического азотирования для упрочнения поверхности стали 18ХГТ с незначительным увеличением шероховатости поверхности. Износостойкость образцов зависит как от микротвердости

поверхности и глубины азотированного слоя, так и от шероховатости и высоты пиков на поверхности, которые характеризуют ее волнистость. Было отмечено, что волнистость при небольшом времени обработки снижается, а затем незначительно повышается.

Сделан вывод, что применение плазменной термоциклической обработки в вакууме является перспективным методом для повышения качества изготовления и ресурса зубчатых колес. Использование метода плазменного термоциклического азотирования в отличие от других методов термоупрочнения позволяет сохранить точность и шероховатость зубчатых колес полученных до термоупрочнения.

Литература

1. Ляшенко, А. Б. Поверхностное упрочнение зубчатых колес: монография / Б. А. Ляшенко, П. В. Каплун, Ф. И. Златопольский и др. // Тр. Кировоград. нац. техн. ун-т. – Кировоград : КНТУ, 2015. – 183 с.

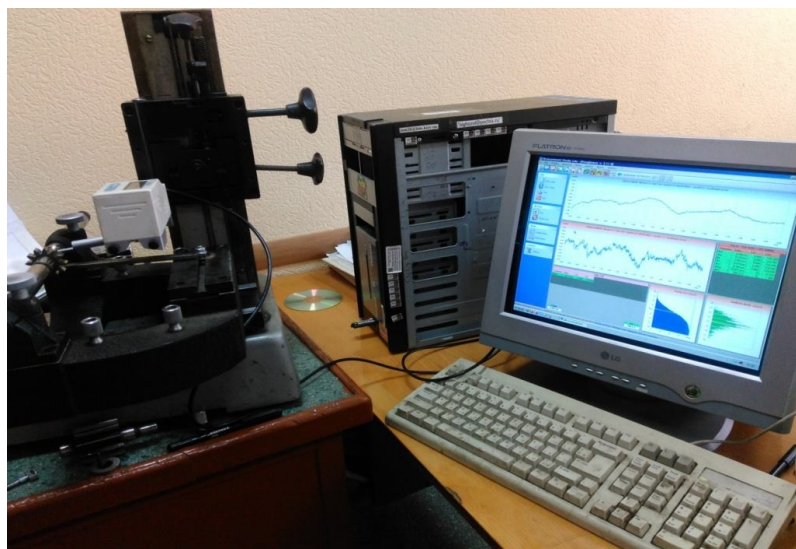


Рис. 1 – Измерение шероховатости образцов на измерительном комплексе, оснащенном профилометром ПМ-10

*Домуладжанов И.Х., Латипова М.И., Бояринова В.Г.,
Холмирзаев Ю.М. Ферганский политехнический
институт, Фергана, Узбекистан*

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АВТОЗАПРАВочНОЙ СТАНЦИИ

Решение экологических проблем требует реального, а не декларативного повышения социально-экологического статуса и выработки на этой основе долгосрочной структурной (отраслевой, технологической, территориальной) перестройки народного хозяйства для ресурсосбережения и уменьшения выбросов (сбросы, размещение отходов) загрязняющих веществ в окружающую среду [1].

Согласно Положения об оплате за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в природную среду и размещение отходов, с установлением размеров компенсационной оплаты. Платежи за выбросы (сбросы) загрязняющих веществ в природную среду и размещение отходов взимаются и поступают в «Фонд охраны природной среды».

Ферганская долина относится к району с наибольшей предрасположенностью к загрязнению окружающей среды. Насыщенность промышленностью, автотранспортом, климато-метеорологические условия и топологическое расположение района способствуют высокому потенциалу загрязнения, скоплению примесей в приземном слое, фоновому загрязнению по сравнению с западными районами Республики, где проветривание осуществляется лучше, и, следовательно, способствует более лучшему рассеиванию вредных выбросов.

В этой связи, целью настоящей работы является оценка загрязнения атмосферы существующими источниками выбросов, оценка ущерба, наносимого этими выбросами, определение величин предельно-допустимых выбросов (ПДВ), гарантирующих нормативное количество воздуха в приземном слое с учетом развития предприятия и фоновых концентраций, разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих снижение существующих валовых выбросов до допустимых величин.

Согласованный и утвержденный Проект нормативов ПДВ является основанием для выдачи предприятию разрешения на выброс и основной программой воздуха – охранной деятельности предприятия. Фирма «Муротхон» предназначена для хранения бензина и реализации этой продукции.

Используемое на фирме сырье и оценка выбросов в атмосферу загрязняющих веществ позволяет отнести ее к III категории воздействия на окружающую среду [2].

Фирма «Муротхон» расположена в 4–5 км от центра города Маргилана, вдоль дороги Фергана-Маргилан, и граничит с АО «Автотранспорт», Фирмой «Садокат», автозаправочной станцией «Автомобилчи». В радиусе 500 м от фирмы «Муротжон» находится Маргиланский филиал «Асака банк», АО «Ферганасеть», станция ТО автомобилей г. Маргилана, АО «Сантехгазмонтаж». От г. Фергана Фирма «Муротжон» находится на расстоянии 5–6 км на юго-запад его центра.

Проект нормативов предельно-допустимых выбросов в атмосферу (ПДВ) АЗС разработаны с целью «Уточнение инвентаризации и установление нормативов ПДВ».

Исходными данными для проведения расчетов загрязнения атмосферы для существующего положения послужили параметры выбросов, полученные прямыми измерительными методами и представленными в инвентаризации источников выбросов вредных веществ предприятия [3].

Инвентаризацией и инженерными исследованиями выявлено 7 источников неорганизованных выделений. В атмосферу от предприятия выбрасываются 1,5967 т/год загрязняющих веществ (пары бензина).

Согласно Постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан за № 949 от 22.11.2018 года. «Об утверждении Положения о государственной экологической экспертизе в Республике Узбекистан». С приложением № 2 от 22.11.2018 года «Перечень видов деятельности, по которым осуществляется государственная экологическая экспертиза.

Данное производство относится к 3 категории воздействия на окружающую среду (низкий риск). Следовательно, необходимо сделать расчеты по программе, согласно ОНД-86 и после анализа, полученные значения выбросов вредных веществ можно взять за нормативные. Разработать природоохранные мероприятия, направленные на соблюдение технологического регламента, контроля за герметичностью оборудования, чистоту территории и выполняя их можно рекомендовать в качестве нормативов ПДВ данные, приведенные в инвентаризации [4].

Основное производство фирмы – на территории фирмы находятся 5 емкостей для бензина по 25 тонн каждая и 2 автоколонки

для реализации бензина. Вспомогательное производство фирмы – офис, операторная, бытовое помещение.

Источниками выбросов на фирме являются в основном выбросы паров бензина из дыхательных клапанов емкостей для хранения бензина, и неорганизованные выбросы от автозаправочных колонок. В табл. 1, приведен перечень вредных веществ (паров бензина) поступающих в атмосферу от АЗС (класс опасности – 4; ПДК максимальная разовая – 5,0 мг/м³).

Таблица 1 – Перечень вредных веществ, поступающих в атмосферу от АЗС

№ источника	Выбросы, г/сек	Выбросы, т/год
1	0,0058	0,1836
2	0,006	0,18835
3	0,006	0,18835
4	0,0054	0,1693
5	0,006	0,1895
6	0,5962	0,3388
7	0,5962	0,3388
	1,2116	1,5967

Характеристика источников выбросов загрязняющих веществ, их параметры, а также количество выбрасываемых загрязняющих веществ (г/с, т/г) от каждого источника представлены в табл. 1. Как видно, основные загрязняющие ингредиенты на объекте газообразные. Расчеты велись по программе ЭОЛ-2000, разработанной в Украине.

Расчет проводился в соответствии с основными требованиями руководящих документов, регламентирующих как методы отбора и анализа проб, так и расчет выбросов загрязняющих веществ, разработанных и утвержденных Госкомприродой Республики Узбекистан.

Рассмотрен участок со сторонами 1000×1000 м с шагом 100×100. Коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, для газообразных продуктов – 1. Коэффициент, зависящий от температурной стратификации для Ферганы принят 200, скорость ветра, вероятность превышения которой в год составляет 5% = 5 м/с, заданная скорость ветра принята 0,5 м/с. Число выдаваемых вкладов принято 2, число выдаваемых максимальных концентраций – 2.

Расчеты показали, что концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы от источников на реконструируемом объекте находятся в пределах нормативных.

Анализ результатов расчета подтвердил предположения о том, что нет превышения нормативов по всем выбрасываемых в атмосферу веществам. Можно сделать вывод о том, что за выбросы приведенные в инвентаризации, можно принять нормативные и разрабатывать природоохранные мероприятия для соблюдения этих параметров.

Литература

1. Hodjamberdiev, I. Central Asia old tailing, Mutual Risk factors / I. Hodjamberdiev, R. Tuhvatshin, I. Domuladjanov // Innovations in minimization of natural and technological risk // Abstr. of the first Eurasian Conference «Risk – 2019», 22–24 may 2019. – Baku, Azerbaijan : ANAofS, 2019. – 49 с
2. Постановления КМ Респ. Узбекистан за №949 от 22.11.2018 года. «Об утверждении Положения о государственной экологической экспертизе в Республике Узбекистан». С приложением №2 от 22.11.2018 года «Перечень видов деятельности, по которым осуществляется государственная экологическая экспертиза».
3. Инвентаризация вредных выбросов в атмосферу по Фирме «Муротхон». – Фергана, 2017. – 27 с.
4. Хабилов, Р. С. Справ. Эколога-эксперта / Р. С. Хабилов, Н. В. Королева, Т. Р. Ишмухамедов. – Ташкент : Госкомприрода, Хабилов Госэкоэкспертиза, ООО Кони-Нур», 2009. – 528 с.

*Дудукалов Ю.В. Харківський національний
автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ІНЖИНІРІНГУ В ІНФОРМАЦІЙНО ОРІЄНТОВАНОМУ РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У доповіді наведені результати досліджень, що спрямовані на підвищення ефективності експлуатації засобів автомобільного транспорту (ЗАТ) за рахунок підвищення рівня технологічного інжинірингу виробничих процесів технічного обслуговування і ремонту

(ТОіР), що створює передумови впровадження інформаційно орієнтованого ремонтного виробництва.

Висока ефективність функціонування авторемонтних і ремонтно-обслуговуючих підприємств в значній мірі може бути забезпечена широким використанням новітніх інформаційних технологій. Саме вони в сукупності з прогресивними операційними технологіями обумовлюють зростання продуктивності праці та якості продукції, скорочення термінів технологічної підготовки ремонтного виробництва і строків виконання заказів. Та зараз, по нашим статистичним даним, на в більшості ремонтних підрозділів машинобудівних підприємств лише 30–50% конструкторської і технологічної документації представлено в електронному виді.

На сьогодні відповідний рівень інформаційного забезпечення технологічного інжинірингу - це не просто використання електронних каталогів і мультимедійних засобів, а формування єдиного інформаційного простору для проектних і виробничих ремонтних підрозділів із урахуванням вимог автоматизованих систем управління виробництвом.

Для вирішення проблем відповідного інформаційного забезпечення ТОіР необхідно для побудови організаційної схеми функціонування ремонтного підприємства враховувати такі положення:

- виконувати розробку методів управління якістю продукції на основі CALS-методології, використовуючи системні моделі інтегрованого інформаційного середовища для підприємств ТОіР;
- забезпечити структурні елементи об'єктів і процесів ТОіР відповідними електронними моделями, макетами, інтерактивними електронними технологічними настановами;
- налагодити ідентифікацію об'єктів ТОіР і безпаперовий документообіг, використовуючи можливості комп'ютерних мереж.

Для інформаційного забезпечення такого ремонтного виробництва, що орієнтоване на широке використання комп'ютерних технологій обробки конструкторської, технологічної та інших видів інформації, потрібно враховувати такі особливості.

1. Передбачається формування інтегрованої структури інформаційних систем для підприємств ТОіР. Такі інформаційні системи виконують обробку масивів даних, які характеризують множини вхідних, вихідних і управляючих векторів для статичних і динамічних процесів в технологічній системі ТОіР. В структурі інформаційно орієнтованого виробництва формуються три основні ієрархічні рівня:

- верхній рівень (планування), що включає в себе підсистеми технологічного інжинірингу для вирішення задач планування виробництва;
- середній рівень (проектування), що включає в себе підсистеми технологічного інжинірингу для проектування виробів, технологічних процесів, розробку управляючих програм для обладнання з мікропроцесорним керуванням;
- нижній рівень (управління технологічними операціями) включає в себе підсистеми технологічного інжинірингу для управління технологічним обладнанням.

2. Потрібна поетапність впровадження і поступове підвищення рівня інформаційного забезпечення ремонтного підприємства. Для першого рівня виконується комп'ютеризація виконання і оформлення конструкторської і технологічної документації. Другий рівень – комп'ютеризація пошукових і розрахункових задач, а третій – вирішення за допомогою інформаційних технологій складних конструкторсько-технологічних задач з прийняттям рішень. На сьогодні саме на задачі третього рівня повинно спрямовувати системи інформаційного забезпечення технологічного інжинірингу ремонтних підприємств.

3. Для реалізації переваг єдиного інформаційного простору треба підвищити фактичну забезпеченість комп'ютерними системами процесів ТОiP, а ефективне управління ремонтним підприємством представляє собою інтелектуальну управляючу систему, що має властивості прогнозування, аналітичної обробки даних (OLAP-системи), або с можливостями прийняття рішень (DSS-системи). В умовах використання таких систем вирішуються проблеми поточного виробництва, незважаючи на багатоваріантність технологій ТОiP і різномарочність ЗАТ. Так, застосування штрих кодування під час проведення ідентифікації об'єктів ремонту дозволяє реалізувати переваги групових знеособлених технологій і проводити конструкторсько-технологічну підготовку за методами одиничних технологій для індивідуалізованих ЗАТ.

4. Використовується комплект електронних еталонів ЗАТ, що включає:

- базовий електронний еталон – повне електронне визначення виробу, де вказані зміни, заміни та інше для конкретних виробів;
- ремонтний або ремонтно-експлуатаційний еталон з інформацією про технічні умови на ремонт ЗАТ і відновлення деталей;
- еталон конструкторської і технологічної документації модернізації.

5. Аналіз існуючих розробок показав, що ефективна технологічна підготовка може виконуватись лише спеціалізованими САПР для підприємств ТОВ. Такий програмний комплекс для сумісної автоматизованої конструкторсько-технологічної підготовки створений в ХНАДУ.

6. Передбачається розвиток нормативної бази на основі стандартів ISO 9000:2000. Інтелектуальна система управління в такому випадку прагне досягти мети на кожному рівні ієрархії.

Таким чином, виявлені особливості формування систем технологічного інжинірингу для виробничих процесів ремонтних підприємств, що створює умови для організації інформаційно орієнтованого ремонтного виробництва.

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

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛИСТОВ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ СПЛАВА Мо – 3 мас.% Re

Применяемый в изделиях электровакуумной техники сплав на основе молибдена ЦМ-2А обладает комплексом уникальных физико-химических свойств, но для соединения стекла и деталей из него нельзя использовать более экономичную термокомпрессионную (диффузионную) сварку (при 800 °С) вместо пайки (при 1200 °С). Ранее проведенные эксперименты по определению теплофизических свойств показали, что требуемыми свойствами обладают сплавы молибдена, легированные 2–3 мас.% Re. Цель настоящей работы – получение и исследование структуры слитков сплава Мо – 3 мас.% Re, а также исследование структуры и механических свойств, изготовленных из них прокаткой листов толщиной 0,8 мм.

Получение слитков сплава Мо 3 мас.% Re; исследование структуры слитков и листов из них ($h = 0,8$ мм). Монокристаллические слитки сплава Мо – 3мас.%Re были получены методом электронно-лучевой зонной плавки тремя проходами зоной со скоростью 4–10 мм/мин (вакуум – 5×10^{-4} – 8×10^{-5} мм рт. ст.). Использо-

вали 2 способа введения рения в молибден. В первом - молибденовый штабик марки МЧ оборачивали фольгой марки MR 47 (толщина фольги – 0,1–0,2 мм); во втором – в продольное углубление, сделанное в монокристаллическом слитке молибдена, вставляли Репроволоку в необходимом количестве. Чистота слитков – 99,99%. Качество монокристаллических слитков оценивали методом световой оптической микроскопии и рентгеновским методом. Микроструктура монокристаллических слитков показана на рис. 1.

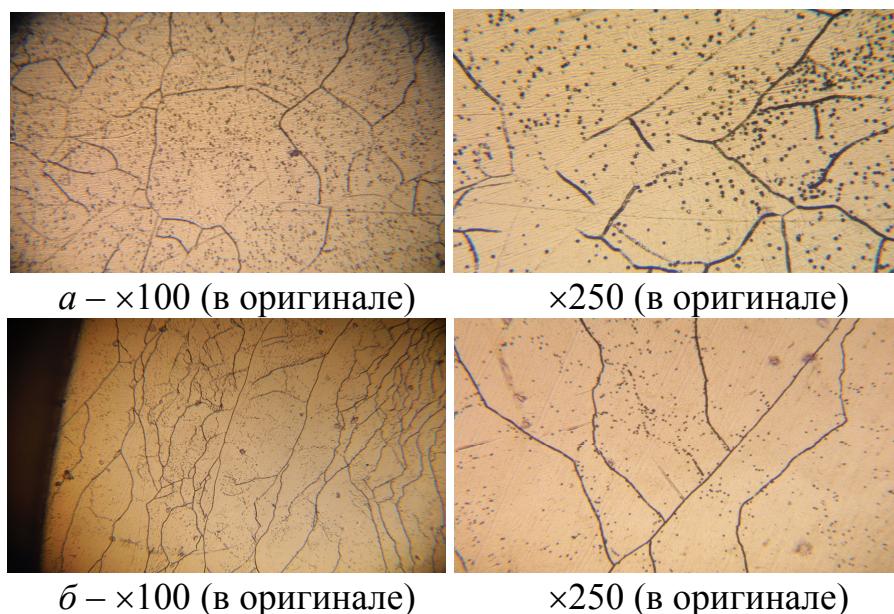


Рис. 1 – Микроструктура слитков в поперечном (а) и продольном (б) сечении

Наблюдаются границы субзёрен, ямки травления на границах и внутри субзёрен. Трещины, микротрещины и поры не обнаружены. Согласно результатам рентгеновских исследований, выполненных на ДРОНе-7, направление оси роста монокристаллических слитков $[100]$ (рис. 2).

Микроструктура листов ($h = 0,8$ мм), полученных прокаткой из слитков сплава Мо – 3мас.% Re, состоящая из волокон, вытянутых в направлении прокатки, представлена на рис. 3. Трещин, микротрещин и пор не обнаружено.

Механические свойства листов ($h = 0,8$ мм). Испытывались плоские образцы после отжига, вырезанные из листов сплава Мо – 3 мас.% Re, на установке «Инстрон-3382» со

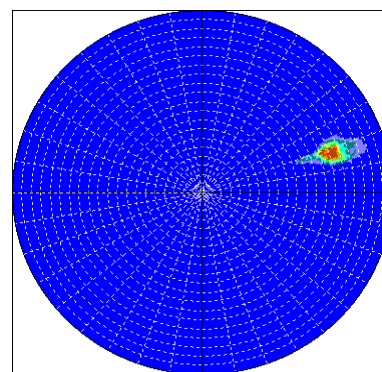


Рис. 2 – Ориентация оси роста монокристаллических слитков $[100]$ и максимальные радиальный и азимутальный углы рассеяния – не более 4,5 и 7,5, соответственно

скоростью 1 мм/мин при комнатной температуре. Размеры образцов и результаты их испытаний приведены в табл. 1.

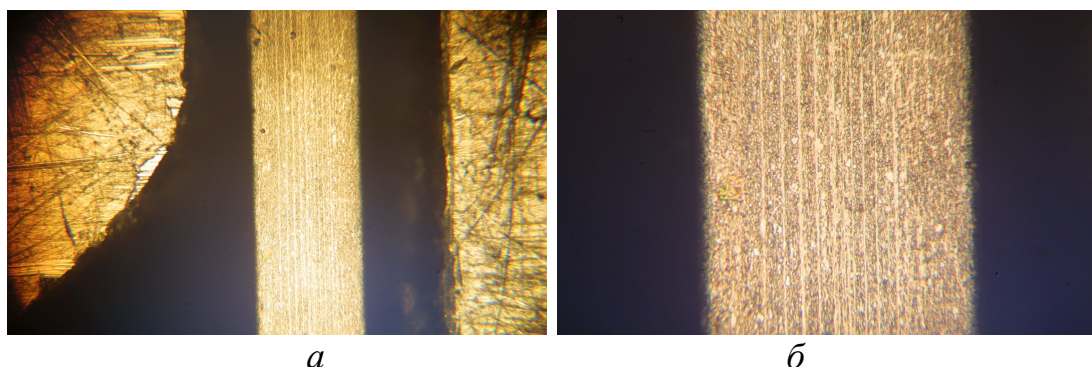


Рис. 3 – Микроструктура листа из сплава Мо – 3 мас.% Re ($h = 0,8$ мм), вырезанного вдоль направления прокатки: $\times 50$ (a) и $\times 250$ (б)

Таблица 1 – Механические свойства исследуемого сплава

№	L_0 , мм.	F_0 , мм ² .	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %
1-пр	1,40	13,49	540,34	726,9	12,07
2-пр	1,40	13,48	433,16	709,16	14,95
3-пр	1,40	13,49	502,95	660,74	24,84
4-пр	1,47	13,53	691,17	691,17	18,22
5-по	1,54	13,51	540,82	748,4	18,29
6-по	1,55	13,51	773,86	773,86	26,15
7-по	1,57	13,51	540,84	761,89	25,47
8-по	1,54	13,51	444,24	760,64	19,35

Первые четыре образца (см. табл. 1) были вырезаны в направлении прокатки, последующие четыре образца были вырезаны поперек направления прокатки. На рис. 4 показаны типичные кривые растяжения образцов, вырезанных вдоль и поперёк прокатки, соответственно.

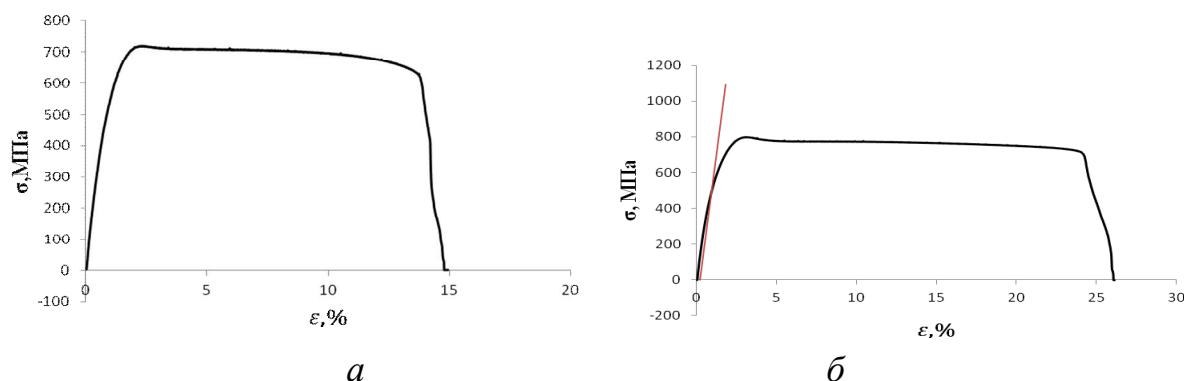


Рис. 4 – Типичные кривые растяжения листа для образцов, вырезанных вдоль (a) и поперёк (б) направления прокатки

Выводы.

1. Получены монокристаллические слитки из сплава Мо – 3 мас.% Re чистотой 99,99%, с ориентацией оси роста [100]; максимальные радиальный и азимутальный углы рассеяния – 4,5 и 7,5, соответственно. Микроструктура слитков состоит из равноосных субзерен. Микроструктура листов толщиной 0,8 мм – волокнистая, волокна вытянуты в направлении прокатки. В слитках и листах трещины и поры отсутствуют.

2. Проведены механические испытания на разрыв образцов из листов ($h = 0,8$ мм), изготовленных прокаткой из монокристаллических слитков сплава. Определены средние значения характеристик прочности и пластичности листов вдоль и поперёк прокатки, соответственно: предел текучести – 493,48 МПа и 483,87 МПа; предел прочности – 696,91 МПа и 761,20 МПа; относительное удлинение – 17,52% и 22,32%.

3. Средние квадратичные отклонения при определении характеристик прочности – 0,0063 и 0,0184, а для относительных удлинений – 0,0116 и 0,0037, соответственно. Таким образом, механические характеристики в поперечном направлении прокатки оказались несколько выше, чем вдоль прокатки.

Зяхор И.В., Кучук-Яценко С.И., Завертанный М.С.
Институт электросварки им. Е.О. Патона, Киев, Украина

СВАРКА ТРЕНИЕМ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ БЛИСКОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Элементы турбины авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) работают в условиях неравномерного нагрева и нагружения. Так, рабочие лопатки турбины ГТД должны выдерживать температуру эксплуатации до 1100°C, в то время как диски работают при температурах до 850°C. Потому для изготовления дисков и лопаток применяют различные сплавы. Оптимальным комплексом технологических и эксплуатационных характеристик для изготовления лопаток обладают литейные жаропрочные никелевые сплавы (ЖНС), а для изготовления дисков – деформируемые и гранульные ЖНС.

Применяемое в настоящее время механическое крепление лопаток к дискам приводит к увеличению массогабаритных показателей рабочих колес в целом. Для решения данной проблемы разработана конструкция типа «блиск», в которой рабочие лопатки сваривают с диском. Такой подход позволяет снизить массу изделия – до 30%.

Для отечественных разработчиков и производителей авиационных ГТД (ГП "Ивченко-Прогресс", АО "Мотор Сич") при создании двигателей нового поколения актуальным является применение в конструкции турбины биметаллических блисков – беззамковых конструкций, получаемых путем неразъемного соединения (сварки) лопаток, изготовленных из литейного сплава, с диском из деформированного или гранулированного ЖНС.

Литейные и гранулированные ЖНС с содержанием упрочняющей γ' -фазы (Ni_3Al) до 65% относятся к трудносвариваемым материалам при всех способах сварки плавлением, поскольку склонны к образованию трещин. Для обеспечения качественного соединения высоколегированных ЖНС в одно- и разнородном сочетаниях ведущие мировые производители авиационных ГТД проводят всесторонние исследования способов твердофазного соединения, в частности сварки трением (СТ). Технология сварки должна обеспечить отсутствие в соединениях каких-либо дефектов и соответствие показателей механических свойств нормативным требованиям.

Проблемы качественной СТ высоколегированных ЖНС обусловлены специфическими теплофизическими характеристиками и значительным сопротивлением пластической деформации этих сплавов практически до температуры солидус, широким температурным интервалам хрупкости, а при сварке ЖНС в разнородном сочетании – также неравномерностью процессов нагрева и деформации, возможностью образования структурной и химической неоднородности в зоне соединения (ЗС).

Цель работы состояла в установлении возможности формирования качественных разнородных соединений дискового гранулированного сплава ЭП741НП с лопаточным литейным сплавом ВЖЛ12У при СТ. Задачи исследований – установить зависимость структурных изменений в металле ЗС от термдеформационного цикла СТ, разработать технологические меры для предотвращения образования трещин, обеспечения бездефектности и заданного уровня показателей механических свойств соединений.

Эксперименты проводили на установке СТ-120, модернизированной для реализации различных термдеформационных циклов,

соответствующих конвенционной, инерционной и комбинированной СТ. Для оценки возможных фазовых превращений в ЗС исследовали термические циклы и процессы деформации при СТ сплавов ЕП741НП и ВЖЛ12У. Методика исследований предусматривала проведение СТ образцов ЖНС с регистрацией термических циклов при нагреве и охлаждении, проведения металлографических исследований, механических испытаний, измерения микротвердости металла в зоне термомеханического влияния (ЗТМВ).

Исследования проводились на модельных образцах ЖНС, которые используются в конструкции турбины авиационных ГТД (образцы АО «Мотор Сич»). Микроструктуру соединений исследовали на оптическом микроскопе "Neophot- 32", растровом электронном микроскопе JSM-35CA, Оже-микросзонде JAMP-9500F, "JEOL". EDS-анализ выполняли на установке "INCA-450", Oxford Instruments", измерения микротвердости – М400, "LECO".

Установлено, что температура в зоне контакта уже на начальных этапах процесса СТ достигает значения, которое превышает температуру $T_{\text{сольвус}}$ (полного растворения упрочняющей γ' -фазы) и достигает температуры $T_{\text{солидус}}$ сплавов, что обуславливает изменение микроструктуры металла в зоне соединения и морфологии упрочняющей γ' -фазы по сравнению с таковой в основном металле (ОМ) сплавов. Установлено аномальный характер процесса деформации со стороны сплава ЭП741НП – осадка происходит скачкообразно в отличие от процесса осадки деформированных и литейных ЖНС.

Исследовали изменение морфологии упрочняющей γ' -фазы в ЗС сплавов ЕП741НП и ВЖЛ12У на разном расстоянии от линии соединения. Установлено, что частицы упрочняющей γ' -фазы обоих сплавов полностью растворяются в зоне динамической рекристаллизации и частично в ЗТМВ. γ' -фаза повторно выделяется при охлаждении в высокодисперсном виде (средний размер частиц составляет около 20 нм). При анализе распределения микротвердости металла в ЗТМВ установлено отсутствие участков с пониженными показателями прочности относительно уровня ОМ сплавов. Распределение показателей твердости коррелирует с изменением морфологии и объемным содержанием упрочняющей γ' -фазы в ЗТМВ на разном расстоянии от линии соединения.

На основе результатов проведенных исследований разработана технология СТ, обеспечивающая формирование бездефектных разнородных соединений дискового гранулируемого сплава ЕП741НП и лопаточного сплава ВЖЛ12У. Определены режимы послесвароч-

ной термической обработки сварных соединений, которая обеспечивает снижение остаточных сварочных напряжений до безопасного уровня, восстановление микроструктуры и морфологии упрочняющей γ' -фазы.

*Iosebidge J., Abramishvili G., Pridonashvili D.,
Diasamidze N., Khvedelidze M., Mgebrishvili Kh.*
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

TRIBOTECHNICAL AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF MOTOR CAR TRANSMISSION OIL

Preparation of investigated motor car suspension oil is based on the use of *amorphous nanodispersed carbon (ANDC)* as an oil additive. In particular, the issue concerns the production waste obtained through methane oxidative pyrolysis (MOP) during acetylene preparation. Its particle size is 10-20 nanometers in average.

As it is known, pitting (“fatigue flaking”) is the most wide-spread type of cog-wheel damage for transmission gearbox and, respectively, it is the major reason of cog-wheels failure therefore antipitting efficiency of transmission oils is of great importance.

Antipitting properties of motor car transmission oil “Kolkheti-2” have been investigated on four-ball friction machine developed at Georgian Technical University.

Lubricant’s antipitting property is estimated by τ time duration from the beginning of the experiment till the formation of pitting on the upper ball.

The experiments were conducted in cases of 400N axial load, with and without running-in of the friction knot. Duration of each running-in was 10 sec.

According to experiment results, preliminary running-in of friction knot causes 1-3 minute increase of time to pitting almost for all investigated oils and known commercial transmission oils. Herewith, oil “Kolkheti-2” with its pitting-resistance index ($\tau = 110$ min) surpasses by far well known transmission oils GEAR 80W, MOBILE 80W-90, CASTROL 140 and TCn-15K, for which $\tau = 87$ min in average. It has some advantages over suspension oil “Kolkheti-1” ($\tau = 105$ min) as well.

Due to action mechanism peculiarities of main component – nanodispersed carbon, oil “Kolkheti-2” reveals higher resistance towards the

negative influence of water and dust on oil antipitting properties in comparison with above mentioned commercial oils containing chemically active additives. In case of “Kolkheti-2” with 5% of water, time to pitting reduces by 2,7%, and for all above mentioned commercial oils – by 6,2%; while for 5% of dust it reduces by 1,8 and 3,5%, respectively.

Research of energy- and fuel-saving properties of investigated oils and commercial transmission oils was conducted on the basis of their influence on energy losses and engine fuel consumption of transmission gearbox of motor car BMW-316.

For the realization of above mentioned, after the allocation of proper oil in the transmission gearbox, at different engine load modes (when opening throttle shutter by 7, 12 and 25%) and at the following crank shaft rotational rates of 900, 1500, 2000, 2500, 3000 and 4000 min⁻¹, transmission gearbox total energy losses (i.e. total energy losses on friction of greased cogwheels, friction between bearing surfaces and oil internal friction) have been measured in the form of rotational moment using balance mechanism, as well as 50g fuel burning time (in sec.), by means of which fuel consumption per hour was calculated afterwards.

According to the obtained data, oil “Kolkheti-2” is distinguished by its relatively high energy- and fuel-saving properties, since at all three test modes of engine load it secures respectively 8,2, 7,3 and 6,1% reduction of rotation moment (i.e. energy losses in transmission gearbox), compared to averaged values of the same parameters of commercial transmission oils (Castrol 140, MOBILE 80W-90 and TAD-17i) that in turn predetermines fuel consumption decrease by 8,1; 7,7 and 6,9%, respectively.

It should be noted that at the stage of very small load mode (when the throttle is opened up by 7%), relatively high energy- and fuel-saving efficiency of oil “Kolkheti-2” is likely predetermined basically by its low viscosity i.e. by its low internal friction. At higher stages of the load mode (when the throttle is opened up by 12 and 25%), this efficiency is due to the combined effect of low viscosity and high antifriction properties of investigated oil.

It has been established that motor car transmission oils prepared with nanotechnology, in tribotechnical and ecological efficiency point of view (antipitting, energy- and fuel-saving properties) have significant advantages compared to oils made by famous firms and intended for the same purposes.

Калашиников И.Е., Кобелева Л.И., Колмаков А.Г. Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова РАН,
Михеев Р.С. МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия
Клименко С.А., Конейкина М.Ю. Институт сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина,
Хейфец М.Л. ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АНТИФРИКЦИОННОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Sn-Cu

Типичным представителем антифрикционных алюминиевых сплавов является сплав АО20-1, применяемый для изготовления вкладышей подшипников. По своим антифрикционным свойствам сплав АО20-1 близок к оловянным баббитам, при этом обладает высоким пределом выносливости, хорошей задиростойкостью, достаточной прочностью и теплопроводностью, дешевизной и технологичностью. Медь и олово, входящие в состав АО20-1, позволяют применять сплав для деталей, работающих в условиях полужидкого и сухого трения. Мягкая фаза сплава в результате пластической деформации металла выжимается на трущиеся поверхности и образует защитную плёнку, что способствует более длительной работе подшипников [1].

Сплав наносят в виде тонкого слоя на стальную подложку методом совместной прокатки листов из алюминиевых сплавов и стали. Вкладыши подшипников получают штамповкой из такой биметаллической полосы. Крупногабаритные подшипники производят методом заливки алюминиевого сплава на стальное основание. Для монометаллических подшипников, используемых в транспортном и общем машиностроении, применяется более дорогостоящие алюминиевые сплавы, содержащие легирующие добавки цветных металлов (Ni, Ti и др.).

Сплавы Al-Sn обладают высокой пластичностью, но прочность и твёрдость их невысока. Улучшить эти свойства и, как следствие, повысить износостойкость материала можно путем введения в сплавы наполнителей различной природы. Известно, что армирующие наполнители с резко отличной от матрицы твёрдостью не только повышают износостойкость КМ, но выполняя роль поддерживающих опор, снижают коэффициенты трения в широком диапазоне параметров нагружения [2].

Среди высокопрочных армирующих наполнителей, таких как карбиды, нитриды, оксиды, бориды, находит широкое применение

и интерметаллидные соединения. Так, при упрочнении интерметаллидными добавками высокопластичных сплавов бронзы удалось повысить износостойкость и механические свойства этих сплавов на 15–20% [3].

Как правило, армирующие интерметаллидные наполнители формируются в процессе литья из компонентов расплава и реакционноактивных легирующих добавок [4, 5]. В этом случае повышаются физикомеханические свойства сплава, вследствие малого несогласования кристаллических решеток сплава и интерметаллидных фаз. Химические реакции формируют в матрице равновесные армирующие фазы, термодинамически стабильные, не имеющие загрязнений на поверхности. Другим способом повышения механических и функциональных свойств матричных сплавов, является их армирование предварительно синтезированными интерметаллидными соединениями, обладающими необходимым комплексом физико-механических свойств. Так, потребность в новых легких жаропрочных материалах, обладающих высокими рабочими температурами для авиационной и нефтеперерабатывающей промышленности, транспортного и энергетического машиностроения активизировала, разработку сплавов на основе алюминидов титана. При легировании интерметаллидного соединения Ti_3Al ниобием в количествах более 10 (ат.%) образуется орто-фаза или интерметаллидное соединение Ti_2NbAl . Исследования свойств Ti_2NbAl показали, что эта фаза имеет более высокую температуру плавления, низкий коэффициент термического расширения, лучшую теплопроводность, большую прочность, пластичность и технологичность, чем у сплавов $TiAl$, Ti_3Al , Ni_3Al , $NiAl$. На сегодняшний день получили развитие методы, позволяющие синтезировать интерметаллидное соединение Ti_2NbAl в виде порошка [6]. Представлялось целесообразным, опробовать порошок Ti_2NbAl в качестве армирующего наполнителя антифрикционного сплава АО20-1. Предполагали, что полученный КМ будет иметь по сравнению с матричным сплавом улучшенные служебные характеристики – повышенные износостойкость и несущую способность.

Были изготовлены КМ содержащие 1, 3, 5 масс.% интерметаллидного соединения Ti_2NbAl , полученного гидридно-кальциевым способом на ООО "Метсинтез", в матричном сплаве АО20-1 (20% Sn, 1% Cu, остальное – алюминий) ГОСТ 14113-78. КМ получали жидкофазным способом по режиму: температура расплава 680–

690 °С, время перемешивания 30 с, скорость вращения импеллера 100 мин⁻¹, выдержка перед разливкой 5 мин.

На рис. 1 представлены типичные изображения поверхностей трения для исходного сплава и КМ, содержащего 3 масс.% интерметаллидов Ti₂NbAl. На поверхности трения сплава АО20-1 в течение трибоиспытаний формируются «наплывы» размером более 100 мкм (рис. 1, а) периодически, отделяющиеся от поверхности. Образование и отделения таких значительных фрагментов материала обуславливает повышенный износ материала. В случае армирования сплава прочными частицами интерметаллидного соединения, таких «наплывов» не наблюдается (рис. 1, б), показатели износа КМ уменьшатся более чем в два раза. Дебрис при испытаниях КМ более дисперсный, что является результатом «укрепления» матрицы армирующими частицами, полосы трения менее выражены и равномерно распределены по поверхности. Уменьшение значений коэффициентов трения наблюдается во всем интервале трибонагружения, в то время как для исходного сплава АО20-1 при достижении значения нагрузки в 2 МПа и выше, отмечено увеличение значений $f_{тр}$. Армирование сплава АО20-1 дисперсными частицами интерметаллида Ti₂NbAl позволило повысить трибологические характеристики сплава. Достигнуто уменьшение значений коэффициентов трения в два раза при увеличении дисперсности структуры матрицы.

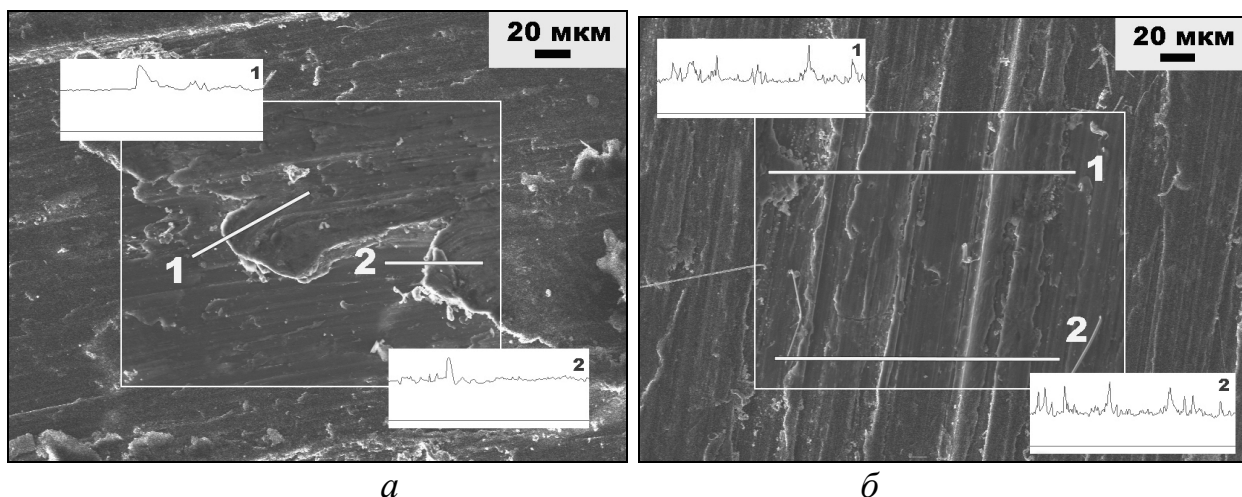


Рис. 1 – Поверхность трения и изображения рельефа поверхности сплава АО20-1 (а) и КМ состава АО20-1+ 3 масс.% Ti₂NbAl (б)

Наибольший эффект на уменьшение износа оказало введение 3–5 масс.% частиц Ti₂NbAl. Таким образом, показано, что армирование сплава АО20-1 частицами интерметаллидного соединения Ti₂NbAl позволяет получать КМ с повышенной износостойкостью и характе-

ризующихся меньшими значениями коэффициента трения по отношению к литому сплаву в опробованных условиях трибонагружения.

Литература

1. Буше, Н. А. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н. А. Буше, А. С. Гуляев, В. А. Двоскина и др. – М. : Транспорт, 1974, 226 с.

2. Чернышова, Т.А. Трибологические свойства литых алюмоматричных композитов, модифицированных нанопорошками / Т. А. Чернышова, И. Е. Калашников, Л. К. Болотова // *Металлургия машиностроения*. – 2010. – № 2. – С. 17–22.

3. Tavakoli, A. Improved mechanical and tribological properties of tin-bronze journal bearing materials with newly developed triballoy alloy additive / A. Tavakoli, R. Liua, X.J. Wu // *Mat. Sci. and Eng.* – 2008. – A 489. – P. 389–402.

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

5. Калашников, И. Е. Структура литых алюмоматричных композиционных материалов, армированных интерметаллидными фазами и наноразмерными тугоплавкими порошками / И. Е. Калашников, Л. К. Болотова, Т. А. Чернышова // *Цветные металлы*. – 2010. – № 9. – С. 7–71.

6. Касимцев, А. В. Получение спеченного сплава на основе интерметаллида TiAl / А. В. Касимцев, С. Н. Юдин, Т. А. Свиридова, и др. // *Известия вузов. Цветная металлургия*. – 2015. – № 4. – С. 63–68.

Кисишвили Л.Т., Никвашвили Н.К., Асатиани Л.Е.
Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 3D МОДЕЛИ, СОЗДАННОЙ В САД ПРОГРАММЕ

Создание 3D модели в программе AutoCAD при нынешнем развитии технологии находит большое применение в таких отраслях как машиностроение, строительство, геология и т.д. На современных станках программного управления при обработки заготовки

станку дается трехмерное изображение, выполненное в графической программе AutoCAD. Станок прочтет чертеж, переведенный в программу CAM и обработает деталь с большой точностью. Трехмерные станки бывают трехосевые и пятиосевые, на пример: DOOSAN DNM 350/5AX, DOOSAN DNM 650, DOOSAN Puma 2600, MultiCam, MU-400VA и т.д. Аналогичный результат получим при "печатание" (атливание) детали с помощью 3D принтера.

Рассмотрим построение 3D модели траверса. В машиностроительной промышленности эта деталь широко распространена. Изучив поверхность изготавливаемой детали надо установить ее определяющие и подобрать метод получения модели. С учетом вышеупомянутого и с применением соответствующих инструментов программы AutoCAD построить профиль и осевую линию траверса (рис. 1). При помощи вращения профиля вокруг оси получится нужная заготовка. Для получения данной детали нужно провести вертикальные секущие плоскости на данном расстоянии от центра и отсечь этими плоскостями боковые части заготовки, а также добавить продольное цилиндрическое отверстие.

Полученная модель (рис. 2) дает возможность проанализировать пространственные взаимосвязи с другими моделями, измерить элементы нужные для построения профиля, создать ортогональные и дополнительные виды (рис. 3), разрезы и сечения. Автоматически строиться линия сечения, построение которой от руки было бы не легко. И самое главное, что мы можем изготовить деталь на станке программного управления.

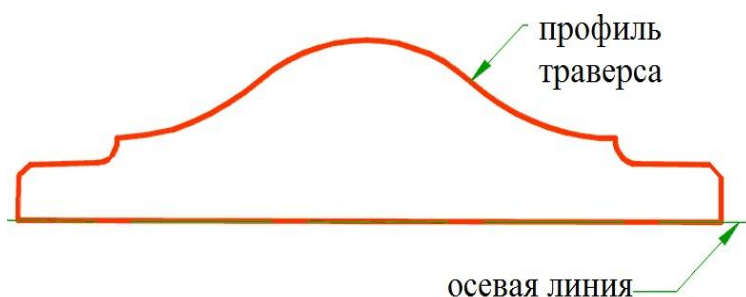


Рис. 1 – Профиль и осевая линия траверса

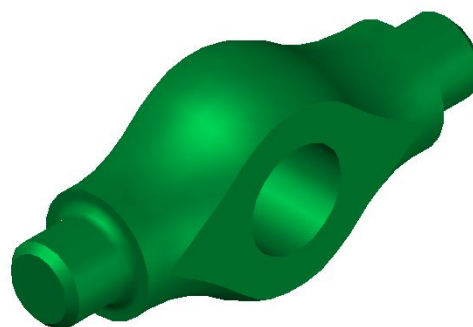


Рис. 2 – Полученная модель траверса

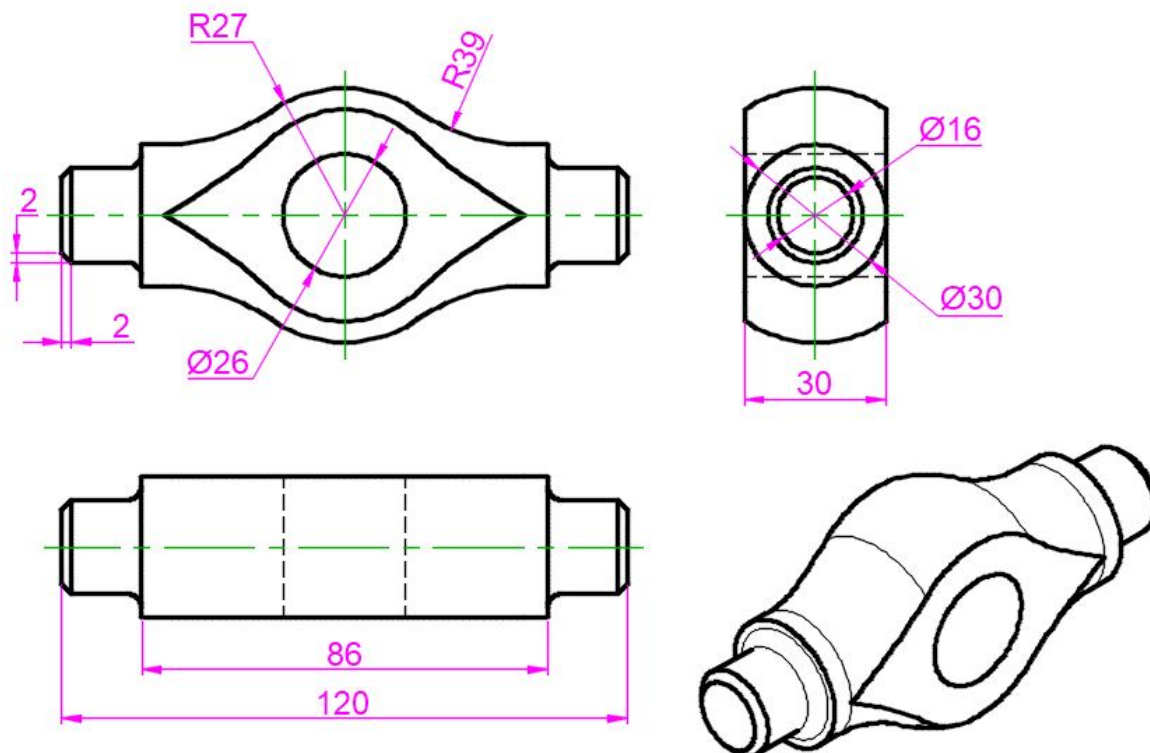


Рис. 3 – Созданные с помощью AutoCAD ортогональные и дополнительные виды, разрезы и сечения

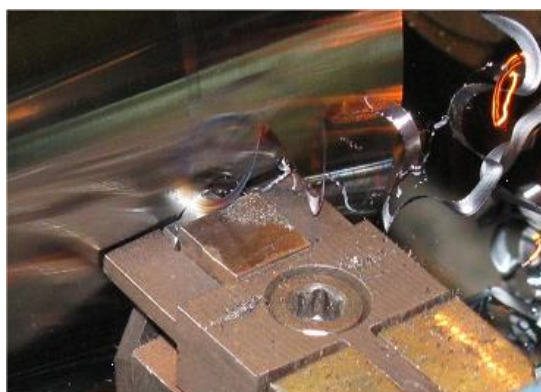
Клименко С.А. Институт сверхтвердых материалов
им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Киев, Украина

ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ИНСТИТУТА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ им. В.Н. БАКУЛЯ НАН УКРАИНЫ

Работы, которые выполняет Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины связаны с разработкой и совершенствованием технологий синтеза сверхтвердых материалов – алмаза, кубического нитрида бора (КНБ) и др., выращивания крупных совершенных монокристаллов алмаза, спекания поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ), алмаз- и КНБ-содержащих композитов, исследованием свойств полученных материалов, созданием на их основе и с их использованием современных режущих, абразивных, деформирующих инструментов, разработкой технологии изготовления и применения таких инструментов в процессах механической обработки.

Созданные инструменты из сверхтвердых материалов и композитов на их основе открывают возможности для использования в машинах самых современных конструкционных материалов, они стимулируют создание станков принципиально новых конструкций с высокой производительностью и точностью.

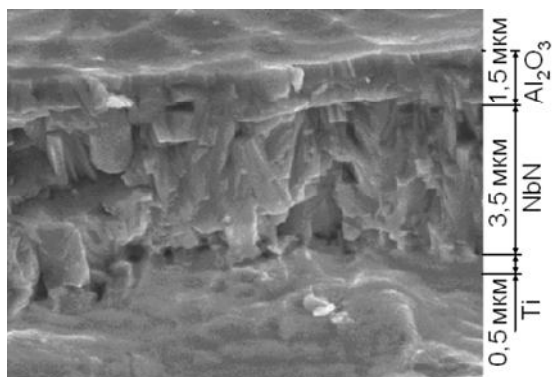
Разработана гамма поликристаллических сверхтвердых материалов на основе КНБ (ПКНБ) групп ВН, ВЛ, ВС – «киборит», «борсинит», «гетеронит» и др. из которых изготавливаются сменные многогранные режущие пластины для оснащения режущих инструментов – резцов, фрез, сверл. ПКНБ группы ВН эффективны при обработке в условиях высоких нагрузок (рис 1, а), группы ВЛ – при окончательной безударной обработке с высокими скоростями резания (точение закаленной стали со скоростью резания до 5 м/с) (рис. 1, б).



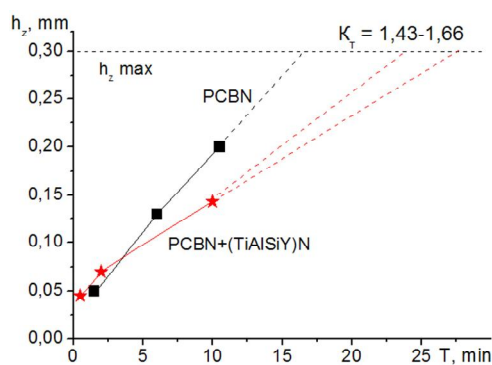
а



б



в



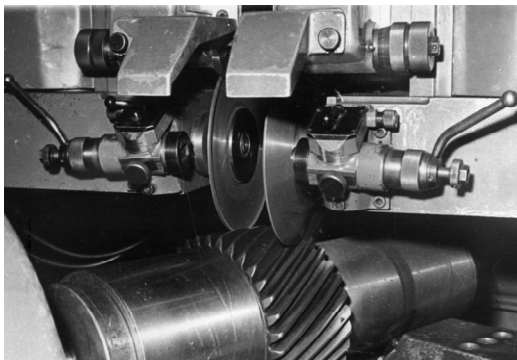
г



д



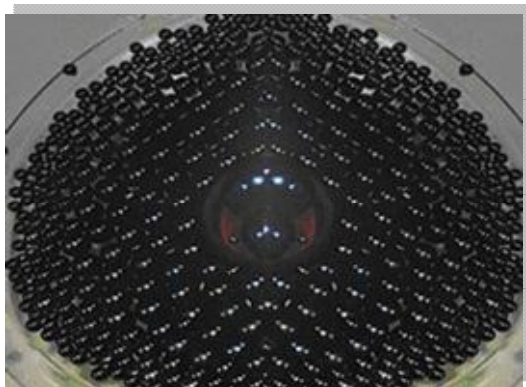
е



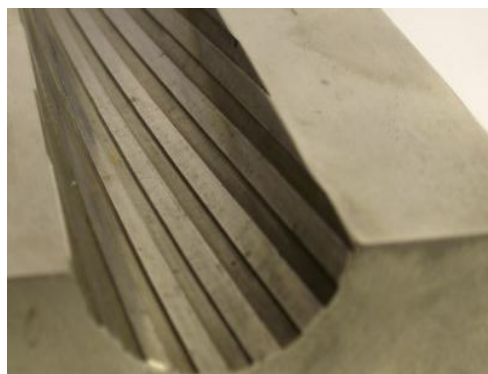
Ж



З



И



К



Л



Рис. 1 – Разработки ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины:

а, б – обработка детали из закаленных сталей инструментами, оснащенными ПКНБ групп ВН, ВЛ соответственно; *в, г* – структура покрытия на основе NbN и график износа инструмента с покрытием (TiAlSiY)N при точении закаленной стали соответственно; *д* – шлифование детали из жаропрочного сплава; *е* – алмазные правящие ролики; *ж* – шлифование зубчатого колеса на станке типа МААГ; *з, и* – элементы эндопротеза тазобедренного сустава из сапфира и керамики и керамические шары соответственно; *к* – сложнопрофильное отверстие, обработанное деформирующим протягиванием; *л* – пин из твердого сплава и труба после сварки трением с перемешиванием

Несмотря на высокую работоспособность инструментов со сверхтвёрдыми композитами при обработке современных конструкционных материалов, повышение их долговечности остается актуальной задачей. Одним из наиболее перспективных подходов яв-

ляется формирование на рабочих поверхностях инструмента защитных покрытий (ПКНБ группы ВС).

Разработаны химически активное на основе NbN (рис. 1, в), многослойное (чередуются слои $\text{Mo}_2\text{N}/\text{CrN}$), многокомпонентное (TiAlSiYN) (рис. 1, з), «самоадаптивное» ($\text{AlN-Ti}(\text{Cr})\text{B}_2$) покрытия для повышения стойкости инструментов из ПКНБ, работающих при повышенных скоростях резания и силовых нагрузках.

Разработана широкая гамма алмазно-абразивных инструментов на металлической, органической, гальванической, керамической, гибридно-полимерной связях.

Созданы новые инструментальные композиты со связкой из углеродистой керамики с мультиграфеновой структурой. Низкотемпературная технология изготовления таких абразивных композитов, которые характеризуются динамическим поведением в зоне контактного нагружения, основана на синтезе структур, содержащих слои графена, сшитые ультрадисперсными частицами металлов, оксидов и других неорганических соединений.

На основе таких композитов разработаны и изготавливаются шлифовальные круги для алмазно-абразивной обработки изделий из жаропрочных сплавов (рис. 1, д).

Наиболее сложными и точными абразивными инструментами, без которых не может обойтись производство авиационных и газоперекачивающих турбин, компрессоров, автомобилей, станков и других сложных машин являются правящие ролики (рис. 1, е). Точность таких инструментов составляет 2–3 мкм, а стоимость может превышать несколько тысяч долларов за единицу. Мы производим такие инструменты по заказам промышленных предприятий.

Предложены инструменты и технологии высокопроизводительной финишной обработки изделий с периодически повторяющимся профилем, в частности высокоточных зубчатых колес (рис. 1, ж), в том числе из титановых сплавов.

Разработанные технологии, лезвийные и алмазно-абразивные инструменты применяются при изготовлении изделий из закаленных и марганцовистых сталей, твердых сплавов, чугунов, жаропрочных сплавов, цветных металлов, титановых сплавов, керамики, полимерных композитов, других конструкционных материалов.

С использованием алмазного инструмента изготавливаются уникальные прецизионные изделия – головки эндопротезов из титанового сплава, сапфира, диоксида циркония (рис. 1, з), сферические головки из композита на основе алмаза, шары из карбида и

нитрида кремния, карбида бора, твердого сплава, других композиционных материалов (рис. 1, *и*), керамические детали двигателя – камера сгорания, лопатка компрессора, торцевые уплотнения и т.д.

Созданы инструменты и технологии для прецизионной обработки холодным пластическим деформированием поверхностей отверстий – гладких и сложнопрофильных (рис. 1, *к*).

В последние годы широкое распространение получили процессы сварки и модификации трением с перемешиванием. Это производство аэрокосмической техники, судостроение, автомобилестроение, производство велосипедов, металлургическое производство, ремонтное производство и т.д. Мы сегодня производим рабочие элементы оборудования для сварки и модификации трением с перемешиванием – пины из сталей для обработки цветных металлов, твердого сплава для обработки титана, никеля, ПКНБ для обработки сталей, жаропрочных и нержавеющей сталей (рис. 1, *л*).

Мы готовы к сотрудничеству по всем отмеченным выше направлениям. Это может быть изготовление изделий под заказ, передача технологии и ноу-хау, совместное совершенствование инструментов и технологий в форме участия в различных конкурсах, проектах. Направления таких работ, по нашему мнению, связаны прежде всего с: – развитием теории механической обработки на основе представлений о закономерностях процессов в «цифровом» отображении с использованием возможностей виртуальной реальности; – созданием компьютеризированной системы выбора материала инструмента для механической обработки с учетом структурного состояния материала изделия; – расширением гаммы композитов и покрытий для оснащения инструментов, которые способны адаптироваться к условиям в зоне обработки и имеют функционально-ориентированные свойства, соответствующие разному характеру эксплуатационного нагружения инструмента; – разработкой «интеллектуальных» инструментов, способных к самодиагностике текущего состояния с использованием предиктивной аналитики; – расширением номенклатуры производства инструментов с сверхтвердых материалов, в том числе многолезвийного из композитов ПКНБ, резцов из крупных монокристаллов алмаза, правящих инструментов с CVD-алмазами; – разработкой 3D-технологий формообразования сложнопрофильных инструментов из порошковых композиций со сверхтвердыми составляющими.

РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ОСНАЩЕННЫЕ СВЕРХТВЕРДЫМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Согласно стандарта ISO 513-2012, поликристаллические сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора (РсВN) делятся на три группы – ВН, ВL, ВС.

Материалы группы ВН – с количеством сВN в диапазоне 70–95 об.%. Характерные особенности таких РсВN позволяют отнести их в разряд сверхтвердых структурированных композитов (ССК). Принцип структурированности связывается с возможностью формирования при спекании гетерогенного структурного состояния материала, что позволяет целенаправленно изменять его физико-механические свойства, создавая преимущества по сравнению с монофазным гомогенным материалом. Содержание фазы сВN в ССК, как правило, не менее 95 об. %, т. е. материал является существенно монофазным, но гетерогенным по своей структуре.

К таким материалам относятся:

- «киборит», $HV_{10} = 36\text{--}42$ ГПа, $E = 880$ ГПа, $K_{1C} \geq 8$ МПа·м^{1/2};
- «гетеронит», $HV_{0,5} = 65$ ГПа, $E = 900$ ГПа, $K_{1C} = 9,1$ МПа·м^{1/2};
- «борсинит», $HV_{10} = 34\text{--}39$ ГПа, $E = 860$ ГПа, $K_{1C} = 11,7$ МПа·м^{1/2}.

Режущие инструменты, оснащенные РсВN группы ВН, позволяют эффективно обрабатывать изделия из различных чугунов, легированных сталей высокой твердости, твердых сплавов с содержанием WC > 15%, деформационно-упрочняющихся литых сталей, деталей с напыленными покрытиями, в том числе самофлюсующимися, с аморфной и аморфно-кристаллической структурами и наплавленными покрытиями сплавами мартенситного класса высокой твердости [1].

РсВN «гетеронит» может быть эффективен в инструменте для нарезания резьбы на деталях из закаленной стали.

Для эффективной обработки броней дробилок из литой стали 110Г13Л как по корке, так и после ее удаления, применяются инструменты, оснащенные пластинами RNUN 19070Т из РсВN «киборит». При точении по корке со скоростями резания 70–100 м/мин,

подачами 0,3–0,4 мм/об и глубинами резания до 8–9 мм стойкость резцов составляет 120–180 мин.

Точение деталей, наплавленных сварочными, наплавочными, порошковым проволоками, спеченными лентами, напыленных с оплавлением покрытиями системы Ni-Cr-B-Si, напыленных порошковыми покрытиями с аморфной структурой, инструментами, оснащенными PcBN «киборит», «борсинит», производится со скоростями резания 60–110 м/мин как непосредственно по неровному поверхностному слою с глубинами резания 0,5–3,0 мм, так и в условиях финишной обработки.

Инструменты с PcBN «борсинит», эффективно обрабатывают детали из твердых сплавов BK15, BK25, BK30 со скоростями резания 15–20 м/мин.

К группе BL относятся керамо-матричные композиты (КМК) с 45–65 об.% cBN. Матрица, дисперсность структуры которой соответствует субмикронному диапазону, мультифазна и имеет сложный химический состав на основе керамических компонент с TiN, Ti(C, N), TiC, TaN, TiB₂, Si₃N₄, SiC, MAX-фазами.

Одним из главных факторов в выборе материалов для использования в качестве матрицы в КМК, является высокая устойчивость их специфической структуры к окислению, определяемая как физико-химической природой соединений, так и структурными особенностями фаз. Матрица должна сдерживать процесс окисления КМК и защищать cBN от разрушающего действия кислорода при высоких температурах, сопровождающих процесс резания. Механические свойства PcBN группы BL: $HV_{0,5} = 34–37$ ГПа, $E = 530–620$ ГПа.

Режущие инструменты, оснащенные PcBN группы BL, позволяют проводить высокоэффективную чистовую лезвийную обработку изделий из сталей твердостью 62–64 HRC, жаропрочных Ni-сплавов [1].

Инструменты с КМК системы «cBN-TiC» (содержание cBN 50–55 об. %) используются при чистовом точении деталей из закаленных сталей (ХВГ, ШХ15, 30ХГСА, 40Х, У8) при скоростях резания 180–270 м/мин, что обеспечивает производительность до 9000 мм³/мин. При обработке жаропрочных сплавов скорость резания достигает 300–500 м/мин.

По сравнению с обработкой инструментами с материалами группы BN, скорость изнашивания инструментов в 1,5–5,0 раз ниже, что обуславливает получение обработанных изделий высокого качества при стойкости инструментов 30–45 мин. При скоростях резания бо-

лее 250 м/мин наиболее перспективно применение режущих инструментов с КМК системы «сBN-TiC», которые по работоспособности соответствуют мировым аналогам («CBN100», SECO, Швеция).

При высокоскоростном точении обеспечивается шероховатость обработанной поверхности Ra 0,32–0,63 (Rz 4–6), что в ряде случаев позволяет заменить на этапе чистовой обработки операцию шлифования, точением инструментами, оснащенными материалами на основе сBN.

Режущие инструменты, оснащенные PcBN переходной группы BL-BH, по интенсивности изнашивания при чистовом точении деталей из железоуглеродистых сплавов твердостью 60–64 HRC со скоростями резания 180–270 м/мин превышают на 25–30% интенсивность изнашивания инструментов с материалами группы BL, однако позволяют проводить обработку при динамических нагрузках.

В таких условиях обработка инструментами с КМК с содержанием сBN (50–55 об. %) сопровождается быстрым микро- и макроскалыванием режущей кромки. Точение инструментами, оснащенными материалами с содержанием сBN 70–75 об. %, выполняется с подачами 0,2–0,3 мм/об при стойкости инструментов 25–30 мин, что существенно расширяет сферу «инструментального» применения PcBN.

Группа ВС объединяет материалы на основе сBN с защитными покрытиями. Применительно к инструментам с PcBN можно выделить несколько взаимосвязанных подходов к созданию перспективных систем покрытий: – выбор структурных составляющих покрытия, которые в процессе обработки резанием на воздухе обеспечивают образование на рабочих поверхностях инструментов высокотемпературных полиоксидных трибопленок, играющих роль твердой смазки, что эффективно снижает интенсивность изнашивания; – введение в состав покрытия соединений, являющихся ингибиторами реакций химического взаимодействия, что позволит сдвинуть начало активного химического взаимодействия в зоне обработки в диапазон более высоких скоростей резания; – снижение коэффициента трения и контактных нагрузок на площадках контакта инструментов за счет твердых смазок и прирабочного слоя покрытия; – обеспечение требуемого структурного состояния (аморфно-кристаллические либо наноструктурированные) покрытия.

Результаты исследований показывают перспективность применения покрытий для повышения стойкости инструментов с ПСТМ на основе сBN при обработке деталей из закаленных сталей. При этом: – повышается надежность работы инструмента на этапе при-

работки, что связано с перераспределением и снижением напряжений, которые формируются в инструменте при его термобарическом нагружении; – увеличивается период стойкости инструментов за счет изменения механизма взаимодействия в зоне резания; – обеспечивается информационная функция, связанная с облегчением контроля величины износа инструмента [1].

Инструменты, оснащенные рассмотренными выше PсBN, выпускаются в условиях опытно-промышленного производства Института сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины.

Литература

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

Ковальов М.Ф., Головащук М.В. Національний транспортний університет,
Кулижський В.М. Інститут проблем міцності
ім. Г.С. Писаренко НАН України, Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ПОЛІПШЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Зростання цін на автомобільний транспорт (АВТ) іноземного виробництва, дефіцит в запасних частинах і їх висока вартість, перевитрата дорогих запасних частин з легованого металу для заміни зношених деталей – головна проблема ефективного використання АВТ, яка змушує по-новому підійти до стратегії його експлуатації, ремонту та підвищення ресурсу.

Використання простих в експлуатації і дешевих технологій відновлення АД, дозволить збільшити їх ресурс і в значній мірі зменшити поставки запасних частин по найбільш дорогим, металомістким і дефіцитним деталям, в тому числі, імпортного виробництва, для заміни зношених деталей і втрат від простоїв.

Узагальнюючи результати досліджень деградації деталей АВТ, причин і характеру їх пошкоджень, основних видів зношування,

зроблено висновок, що зниження надійності, довговічності і ресурсу деталей АВТ зумовлено недостатньою їх поверхневою міцністю, яка знижує опір деталей до руйнування в процесі експлуатації. До основних причин втрати працездатності АД можна віднести: різні види зносу; поломки і викрашування в результаті втомного зношування, корозійні поразки, руйнування внаслідок повзучості і всі можливі поєднання вищевказаних причин. Експлуатаційні відмови деталей АВТ внаслідок зносу складають 80–90% від загальної кількості відмов.

Більшість деталей АВТ працює в умовах, при яких експлуатаційні навантаження сприймається головним чином їх поверхневим шаром. Від опору поверхневого шару руйнуванню залежить його зносостійкість і зародження та розвиток втомних тріщин. Тому, в багатьох випадках недоцільно відновлювати і зміцнювати всю деталь, а досить нанести на її робочі поверхні шар покриття з необхідними властивостями.

Загальним висновком з аналізу інформаційних потоків слід, що нанесення покриттів може дозволити не тільки відновити геометричні розміри деталей, але і забезпечити їх зносостійкість, а відповідно і продовжити ресурс. Однак відсутність практичних рекомендацій щодо поверхневому зміцненню шляхом нанесення покриттів і обмеженої інформації за властивостями покриттів викликає обґрунтовану недовіру конструкторів і технологів авторемонтних підприємств.

Нанесення покриттів досягається шляхом осадження на відновлюємі поверхні матеріалів, які за своїми властивостями відрізняються від основного металу деталі і найбільш повно відповідають умовам експлуатації (зносу, корозія і т.п.). Використання зносостійких покриттів (ЗП) сприяє не тільки підвищенню триботехнічних властивостей АД, а і дозволяє збільшенню терміну їх експлуатації. шляхом відновлення і зміцнення зношених поверхонь деталей і при цьому зменшити витрати легованих сталей і сплавів. Без технологій зміцнюючих зносостійких покриттів (ЗЗП) економіка України не зможе вийти з кризи гострого дефіциту металу, запасних частин, електроенергії, палива. Застосування технологій ЗЗП сприяє вирішенню проблеми дефіциту в Україні таких стратегічних матеріалів як Ni, Cr, V, Mo, W, Co, Cu і ін.

При нинішній економічній ситуації в Україні, в умовах порушення раніше існуючих економічних зв'язків і зростаючої міжнародної кооперації, вдосконалення існуючих і розробка простих в експлуатації і дешевих технологій нанесення ЗЗП при відновленні і пі-

підвищенні триботехнічних властивостей деталей АВТ дозволить збільшити їх ресурс і в значній мірі зменшити поставки запасних частин по найбільш дорогим, металомістким і дефіцитним деталям, в тому числі імпортного виробництва, для заміни зношених деталей і втрат від простоїв транспортну. Розвиток і впровадження технологій відновлення і поліпшення триботехнічних властивостей АД шляхом нанесення ЗП стримується відсутністю спеціалізованого обладнання та матеріалів для їх відновлення і зміцнення або низькою їх якістю. Використання традиційних методів нанесення покриттів різними способами наплавлення та напилення не забезпечують необхідний ресурс деталей із-за ряду недоліків цих способів, які обмежують область їх застосування. Отже, актуальним напрямком при відновленні та підвищенні триботехнічних властивостей АД є науково-обґрунтований пошук прогресивних і менш витратних методів формування ЗП.

Обґрунтовано, що при виборі способу нанесення ЗП необхідно враховувати основні умови його формування: 1) частка участі основного металу в покритті повинна бути близька до нуля; 2) термічний вплив на деталь повинен бути мінімальним. Згідно розглянутим умовам формування покриттів та з аналізу і узагальнення наданої інформації про способи формування ЗП встановлено, що вищевказаним умовам повністю відповідають методи електродугового і газополуменевого напилення.

Висновки.

На основі аналізу літературних даних і патентних досліджень проведений науково-обґрунтований пошук методів формування ЗП з метою поліпшення триботехнічних властивостей деталей АВТ і на підставі його результатів, у відповідності з економічними умовами в Україні, вибрані прогресивні і менш витратні методи електродугового та газополуменевого напилення та обґрунтована доцільність їх вибору.

Дана характеристику методів нанесення ЗП електродуговим та газополуменевим напиленням та запропонувати основні напрямки їх удосконалення шляхом:

- управління технологією напилення, зокрема параметрами газотермічного потоку (швидкістю і температурою газу і частинок, коефіцієнтом зосередженості потоку); способами підготовки поверхні під напилення; конструктивними параметрами обладнання; складом і властивостями напилюємого матеріалу і несучого середовища;

- активування процесів газополуменевого і електродугового напилення, яке полягає в управлінні фазовими перетвореннями і структурними змінами в матеріалах нанесених покриттів, що забезпечує поліпшення триботехнічних властивостей деталей АВТ.

Запропонований новий підхід до вдосконалення технології формування зносостійких покриттів методами газополуменевого і електродугового напилення для відновлення та поліпшення триботехнічних властивостей деталей АВТ, в основі якого має лежати створення в матеріалі покриттів фазових перетворень і структурних змін при їх напиленні і обробці, і управління ними для забезпечення підвищення триботехнічних властивостей поверхонь АВД.

Проведений порівняльний аналіз властивостей поверхонь відновлених і зміцнених методами газополуменевого та електродугового напилення і взаємозв'язок технологічних параметрів цих процесів отримання покриттів з їх властивостями.

На підставі аналізу літературних даних і патентних досліджень вибрані деталі автомобільного транспорту, які доцільно відновлювати і підвищувати їх триботехнічні властивості.

Козяр Я.А., Головня В.Д., Полонський Л.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка»,
Житомир, Україна

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ 3D-ДРУКУ ЗА FDM ТЕХНОЛОГІЄЮ ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ ШНЕКОВОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ПЛАСТИКУ

«Адитивні технології» (Additive manufacturing), або АF-технології (AF – від Additive Fabrication) – термін, яким у світовій практиці позначає застосування 3D-друку в промисловості, тобто, виготовлення виробу шляхом додавання, а не віднімання. При такому способі створення деталі складної форми, коли матеріал наноситься послідовно – шар за шаром, витрачається така його кількість, яка необхідна, – не більше і не менше. Програмне забезпечення 3D-принтера ділить тривимірну комп'ютерну модель на шари однакової товщини, після чого принтер створює прототип шляхом послідовного нанесення одного шару матеріалу за іншим.

Адитивні технології відрізняються одна від одної вибором матеріалів і способу їх нанесення, проте, у всіх випадках створення моделі ґрунтується на пошаровому нарощуванні. Моделювання методом пошарового наплавлення (Fused deposition modeling (FDM)) – одна із технологій адитивного виробництва, що широко використовується для створення тривимірних моделей, прототипування і в промисловому виробництві.

У процесі FDM 3D-друку створення тривимірних об'єктів відбувається за рахунок нанесення послідовних шарів матеріалу, що повторюють контури цифрової моделі. Як правило, в якості матеріалів для друку виступають термопластики, що поставляються у вигляді катушок ниток або прутків.

Технологія FDM 3D-друку була розроблена С. Скоттом Трампом наприкінці 1980-х рр. і вийшла на комерційний ринок в 1990 р.

До недоліків технології FDM 3D-друку слід віднести низьку швидкість друку та велику шорсткість готових виробів, що у свою чергу не дозволяють у повній мірі розкрити потенціал даної технології.

Зазначені вище недоліки, на нашу думку, в першу чергу пов'язані з механізмом подачі пластику в екструдер.

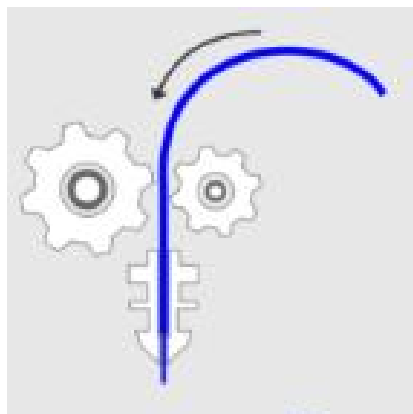
Провівши аналіз існуючих на теперішній час конструкцій подачі пластику та екструдерів ми дійшли до висновку, що вони є малоефективними.

На основі проведеного аналізу нами було розроблено екструдер з системою подачі шнекового типу, що покращить точність подачі пластику і буде позбавлений так званої «проблеми відкатів пластику» і, у свою чергу покращить якість деталей та продуктивність технології FDM 3D-друку.

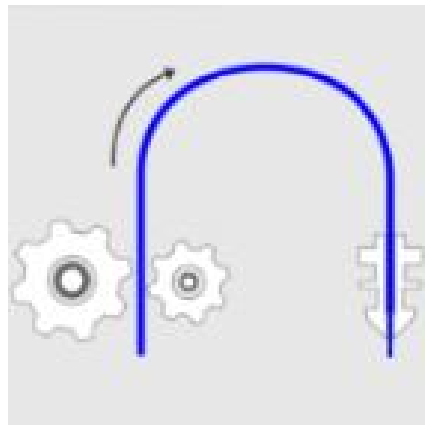
На рис. 1 зображено запропоновані схеми розташування шнекового блоку подачі пластику. При використанні варіанта а) збільшиться швидкість друку за рахунок зменшення маси екструзійної головки, б) – з'явиться можливість друкувати еластичними пластиками.

Запропонована ідея конструкції шнекового екструдера (рис. 2) є аналогом конструкції компанії Visco Tech (рис. 3), але на відміну від неї не потребує додаткової станції для подачі пластику і може використовуватись як у промисловості, так і в прототипуванні.

Конструкції промислових шнекових екструдерів, що застосовуються у машинах високоточного друку (0,010–0,001 мм) та вирізняються великими габаритними розмірами і вартістю виготовлення, стали ключовим фактором пошуку шляхів покращення технології FDM 3D-друку, а саме – розробки власної конструкції, єдиним недоліком якої є складність виготовлення.



a



б

Рис. 1 – Схеми розташування шнекового блоку подачі пластику

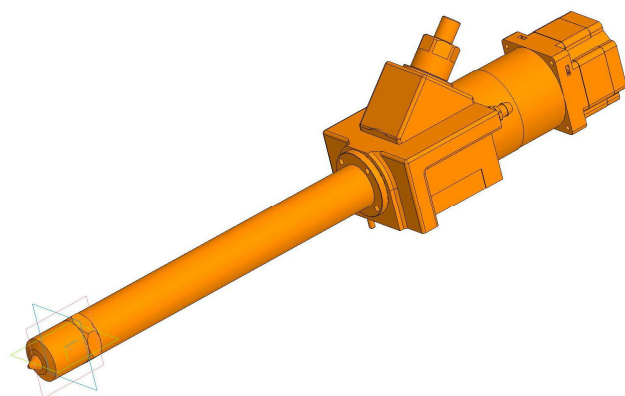


Рис. 2 – Розроблена конструкція шнекового екструдера



Рис. 3 – Шнековий екструдер компанії Visco Tech

*Кондратюк Е.В. ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес», Запоріжжя
Пащенко Є.О. Інститут надтвердих матеріалів
ім.В.М.Бакуля НАН України
Рябченко С.В. ДП «БЕСТ-БІЗНЕС», Київ, Україна*

ШЛІФУВАННЯ ХВОСТОВИКА ЛОПАТОК ТУРБИН КРУГАМИ З МОНОКРИСТАЛІЧНОГО КОРУНДУ

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

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

Високопористі абразивні круги мають істотні переваги в порівнянні з інструментами нормальної пористості при обробці деталей з високолегованих сталей і сплавів в тих випадках, коли лімітуючими факторами є високі вимоги до відсутності «припалів» і тріщин при шліфуванні.

При призначенні характеристик абразивних кругів для шліфування, технологи часто стикаються з проблемою порівняння відповідних характеристик різних виробників абразивного інструменту. І хоча характеристики абразивного інструменту мають відповідні стандарти, все ж кожен виробник має свої особливості в позначеннях цього інструменту. Структура кругів позначається цифрами і не має суттєвої відмінності у різних виробників. За європейським стандартом ISO/FDIS 6103 прийняті номери структури для абразивного інструменту від 0 до 14, тобто всього 15 груп. Приклади структури шліфувальних кругів з приведені на рис. 1.

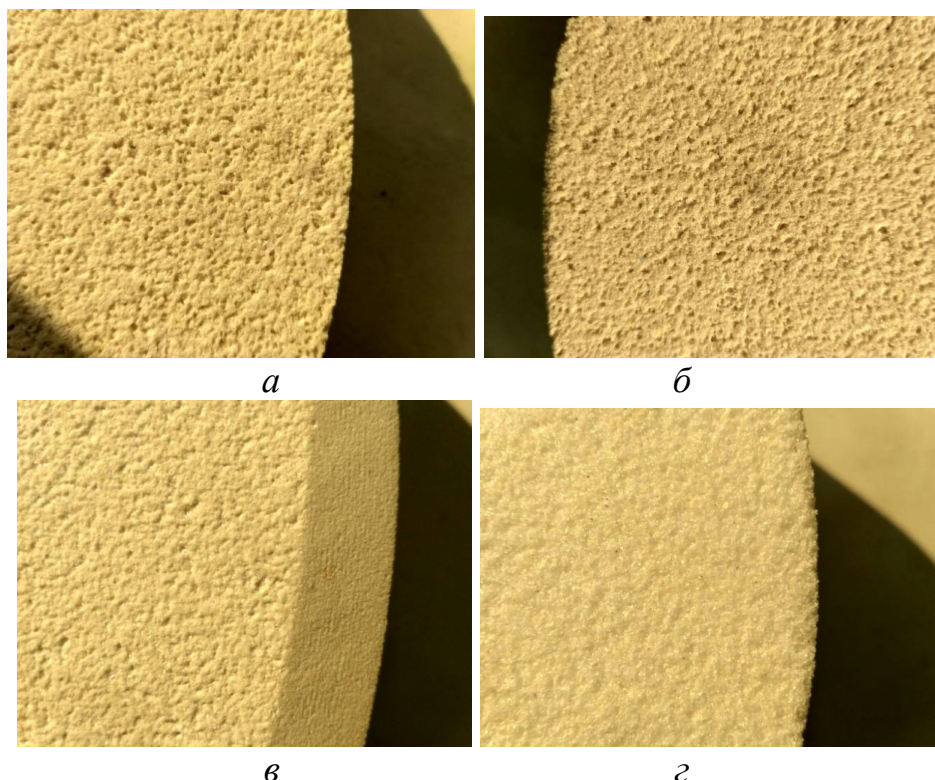


Рис. 1 – Приклади структури шліфувальних кругів електрокорунду білого зернистістю F60 за номерами структур: *a* – 12, *б* – 11, *в* – 9, *г* – 6

Дослідно-промислове випробування високопористих абразивних кругів з монокристалічного корунду проводили на ДП ЗМКБ

«Івченко-Прогрес» (м. Запоріжжя). Шліфувалися складнопрофільні хвостовики типа «ялинка» робочій лопатки турбіни.

Шліфування складнопрофільних хвостовиків здійснювалось на шліфувальному верстаті з ЧПК «MAGERLE MFP- 050». Випробовувались високопористі шліфувальні круги діаметром 300 мм з монокристалічного золь-геливого корунду (300x45x76,2 92AG 54/60 G 11 VC40), виробництва холдингу «BEST-BUSINESS a. s.» (Чехія), правка шліфувальних кругів виконувалась алмазнимиправлячими роликми, виробництва ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України.

Визначення придатності шліфувальних кругів виконувалось по складнопрофільній поверхні зразка типа «ялинка», на верстаті з ЧПК «MAGERLE MFP-050» з автоматичним контролюванням швидкості, рясною подачею охолоджуючої рідини та постійною правкою круга.

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

*Viktor Kopersak, NTU of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

CALCULATIONS AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THERMO-PHYSICAL PROPERTIES OF SOME FLUXES

The known methods of calculation of temperature fields in welding (Ryikalin, N., Rosenthal, D., Goldak, J. et.al [1–3]) do not take into account in any way the effect of flux which undertakes a part of heat flows in welding heating limiting either by imparting the adiabatic properties to boundaries surfaces of workpiece or giving the heat exchange of boundaries surfaces with air by Newton's law [4]. But it is evident that in cases when the mass of the auxiliary welding material, i.e. flux, is commensurable with a mass of metals being welded, the mentioned methods of calculation of temperatures in the zones of welding heating are not able to give a real result.

At the same time, the calculations, which could account for the capability of flux to absorb or dissipate the heat in welding heating and

subsequent cooling, cannot be fulfilled without knowledge of real thermo-physical properties of flux as a bulk granulated material.

The first this property, which is encountered at the attempts of realistic calculations of temperature fields in automatic submerged arc welding, is the flux heat capacity. However the author did not manage to find any information about heat capacities of welding fluxes, used in practice, in available literature.

Theory allows calculating the heat capacity of flux, as well as of any other solid or liquid substance by thermodynamic methods [5], using for example the law of Dulong-Petit for molecular substances and law of additivity for their mixtures.

Example of such calculation for most widely-spread welding flux AH-348A is given in Table 1.

Table 1 – Example of calculation of heat capacity of welding flux

AH-348A	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	CaO	MgO
Mass fraction of component ¹	0.4	0.32	0.06	0.02	0.05	0.1	0.05
Molecular mass of component [11], A.m.u.	60	72	102	160	78	56	40
Molecular fraction of component	0.430	0.286	0.037	0.008	0.041	0.115	0.080
Table molar heat capacity of component [12], J/(kg-mole·K)	44480	44830	79000	103700	67030	42800	37410
Table mass heat capacity of component (recalculation), J/(kg·K)	741.3	622.6	774.5	648.1	859.4	764.3	935.3
Fraction of component in general heat capacity of flux substance proportional to a mass one	296.5	199.2	46.5	13.0	43.0	76.4	46.8
Calculated heat capacity of flux (additively: total sum of components)					721.4 J/(kg·K)		

¹ Averaged values from data of chemical compositions of different literature sources [6–9]

Similarly, it is possible to determine theoretically the probable values of heat capacities also for other welded fluxes (see Table 2).

However, the thermo-dynamic method of calculation makes it possible to determine the thermo-physical properties of substances only as monolithic – solid (indissoluble) media. Moreover, these calculations do not account in any way for possible interaction between flux components

(with formation of new substances), as well as a rather high probability of formation of regular structures in the flux substance [10]. It is evident that these factors, as well as physical state of granulated mixture, which is the welding flux at its application, will produce the final properties somewhat different from properties of a monolithic homogeneous mixture of components. These differences can be determined only experimentally. These experiments were made by the authors.

Table 2 – Comparative results of calculations and experiments for determination of heat capacities of welded fluxes

Flux (grade) or material	Heat capacity		
	mass (calculation), $J/(kg \cdot K)$	mass (experiment), $J/(kg \cdot K)$	
		Average value	Absolute deviations
AH-348A	721.4	841.5	+ 45.5 - 41.0
AH-44	737.3	932.3	+ 19.1 - 20.2
AH-45	800.0	862.2	+ 5.1 - 4.2
AH-60	710.5	904.5	+ 27.3 - 34.4
Building sand (reference substance)	741.3	Reference data	
		820.0	± 15.0
Low-carbon steel (for reference)	Calculation was not performed	Reference data	
		460.5	± 7.5

The experiments were conducted using water calorimeter (20 kg of distilled water in the vessel of thin-sheet brass). The principal of experiment consisted in the following: the portion of flux of known volume and mass was heated in furnace up to the specified fixed temperature and placed into the calorimeter (into water). The difference of temperatures of water in calorimeter before and after pouring of flux there was measured, which allowed judging about amount of heat, put into the calorimeter by a portion of flux. In its turn, this gave an opportunity to determine the heat capacity of a flux portion, considering that it was cooled in the process of experiment from the heating temperature in furnace down to the temperature of calorimetric liquid (which was accepted equal to the temperature in the room, where experiment was held).

At the first stage the following industrial fluxes in as-delivered state were investigated: AH-348A, AH-44, AH-45, AH-60. The amount of flux being investigated was controlled by a bulk volume, which was 80.0 ml. In this case the bulk mass can be different depending on the type of flux and

random distribution of granules in bulk mass within the ranges of 0.12–0.14 kg. The portions of fluxes were heated in a drying furnace up to temperatures $\sim 330\text{--}370\text{ }^{\circ}\text{C}$, the equal temperature of heating was not required according to the experiment conditions, however, for each test its initial temperature was recorded rather strictly.

The increment of temperature of calorimetric liquid was measured by a specialized Beckmann thermometer at an accuracy up to $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ and it was varied from experiment to experiment in the limits of about $\Delta T_l = 0.38\text{--}0.46\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperature in the room where the experimental equipment was located, changed during the period of experiments within the ranges from $T_0 = +15$ to $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Moreover, the trend of changing the temperature of calorimetric liquid inside the calorimeter amounted to the value of not more than $\sim 1.7 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ at duration of the procedure of calorimetry proper of 15–20 minutes. The results of the experimental measurements are shown in Table 2.

References

1. Рыкалин, Н. Н. Расчет тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рікалин. – М: Машиностроение, 1957. – Р. 100–105.
2. Rosenthal, D. The theory of Moving Sources of Heat and Its Application to Metal Treatments / D. Rosenthal // Trans. ASME. – 1948. – № 11. – Р. 849–866.
3. Goldak, J. A new finite element Model for Welding Heat sources / J. Goldak, A. Chakravarti, M. Bibby // Welding Journal. – 1984. – V.15B, № 6. – Р. 299–305.
4. Балдин, А. М. Физическая энциклопедия / А. М. Балдин, А. М. Бонч-Бруевич // Советская энциклоп. – № 3 (5). – С. 137–141.
5. Казачков, Е. Расчёты по теории металлургических процессов / Е. Казачков : Учеб.пособ. для вузов. – М.: Металлургия, 1988. – 272 с.
6. Підгаєцький, В. В. Флюси для механізованого електрозварювання / В. В. Підгаєцький. – К. : Держлітизд., 1961. – 92 с.
7. Патон, Б. Е. Флюс для дуговой сварки / Б. Е. Патон, В. Н. Коперсак и др. // А.С. СССР, № 1230779. – 1984.
8. Флюс сварочный плавный марки АН-45, Технические условия, ТУ 14-146-15–75. – К. – 1978
9. Подгаецкий, В. В. Сварочные шлаки / В. В. Подгаецкий, В. Г. Кузьменко. – К. : Наук. думка, 1988. – 252 с.
10. Волков, С. В., Координационная химия солевых расплавов / В. В. Подгаецкий. – К. : Наук. думка, 1977. – 329 с.

Копылов В.И., Люшенко Е.О. НТУ Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
Киев, Украина
Дудан А.В. Полоцкий государственный
университет, Новополоцк, Беларусь

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Основной характеристикой плазменных покрытий в большинстве случаев является прочность их сцепления с основой. Даже для покрытий, которые вообще не несут силовой нагрузки при эксплуатации изделия, а выполняют функции защиты поверхности от окисления и эрозии, их работоспособность с учетом случайного характера переменных нагрузок зависит от прочности сцепления [1, 2].

Основная причина разрушения плазменных покрытий – термомеханические напряжения, возникающие вследствие рассогласования термического расширения металла основы и покрытия, а также неравномерности распределения температурного поля в покрытии. Термомеханические напряжения усугубляются действием остаточных напряжений, возникающих в покрытии при напылении, и ослабляются эффектами пластичности и ползучести, реализующимися в металлическом подслое [3].

В мировой практике распространенными способами повышения физико-механических свойств плазменных покрытий является плазменное напыление с последующей обработкой концентрированным потоком энергии, лазерным в частности. Лазерная обработка (ЛО) позволяет при минимальных кратковременных тепловложениях в деталь формировать ультрадисперсную структуру с повышенными физико-механическими свойствами [4].

Для повышения физико-механических свойств плазменных покрытий не менее важно использование эффективного недорогого материала порошка. Авторами статьи [5] предложено использовать для получения напыленных плазменных покрытий самофлюсующийся диффузионно-легированный порошок ПР-Х18Н9.

Напыление износостойкого слоя из диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 толщиной 0,4–0,5 мм проводили на следующих режимах: сила тока $I = 350$ А, дистанция напыления $L = 120$ мм, напряжение $U = 65–70$ В. Лазерную обработку напыленных покры-

тий выполняли на следующих режимах: мощность лазера $P = 1$ кВт, удельная энергия $E = 100\text{--}300$ Дж/мм².

Микроструктура плазменных покрытий из диффузионно-легированных порошков характеризуется гетерогенностью структуры, наличием пористости 9,59–14,68%. В плазменно-напыленных покрытиях присутствуют нерасплавившиеся частицы, оксидные пленки, характерные для плазменного напыления, что позволяет предположить недостаточные физико-механические характеристики покрытия и плохую адгезию покрытия с подложкой. С целью устранения этих недостатков покрытия подвергали ЛО. После ЛО происходит практически полный переплав покрытия (его степень зависит от величины удельной энергии). Микроструктура покрытия имеет характерное мелкодисперсное, дендритное строение. Плазменно-напыленные покрытия после ЛО характеризуются низкой пористостью (0,23–4,70%) и гомогенностью структуры [5].

Исследование распределения микротвердости по глубине нанесенного покрытия показало, что для удельной энергии $E = 300$ Дж/мм² наблюдается резкое увеличение микротвердости на глубине 150–250 мкм от поверхности до $H = 2768\text{--}3572$ МПа, что объясняется формированием ультрадисперсной структуры за счет быстрого теплоотвода после ЛО в глубь металла (рис. 1, а). Снижение твердости на поверхности объясняется большим тепловложением в покрытие. Для удельной энергии $E = 100$ Дж/мм² аналогичный скачок происходит на глубине 350–400 мкм от поверхности (рис. 1, б).

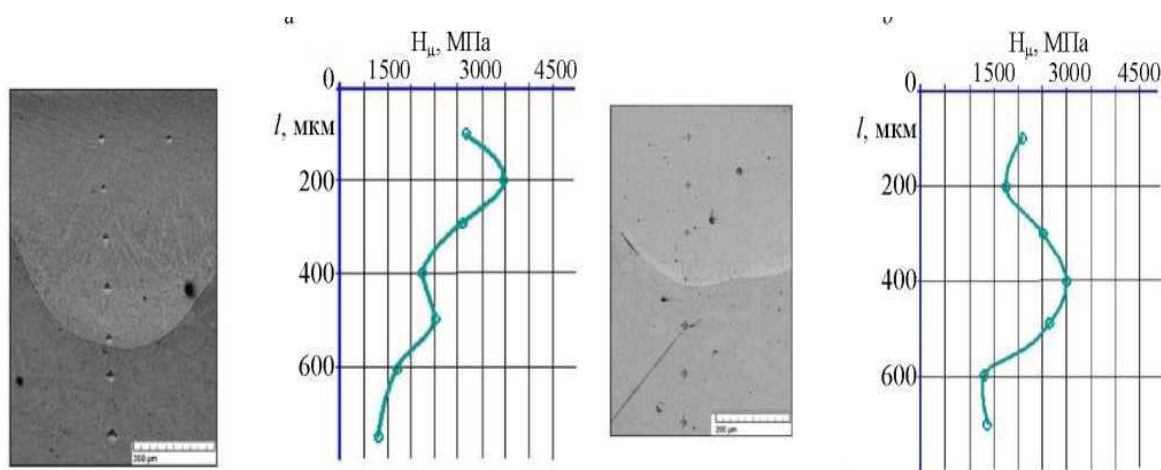


Рис. 1 – Распределение микротвердости покрытий по глубине при удельной энергии: а – $E = 300$ Дж/мм²; б – 100 Дж/мм²

При плазменном напылении в образцах возникают растягивающие напряжения, а после ЛО существенное термическое влияние

приводит к смене направления напряжений и образованию сжимающих напряжений. После ЛО наблюдается изменение знаков напряжений и их размеров. Это можно объяснить разными коэффициентами термического расширения и размерами зоны расплава и зоны термического влияния (ЗТВ), что, в свою очередь, зависит от химического состава покрытия и его микроструктуры. Из рис. 2 видно, что наименьшие напряжения образуются в покрытии при использовании диффузионно-легированного порошка в течение 3 ч.

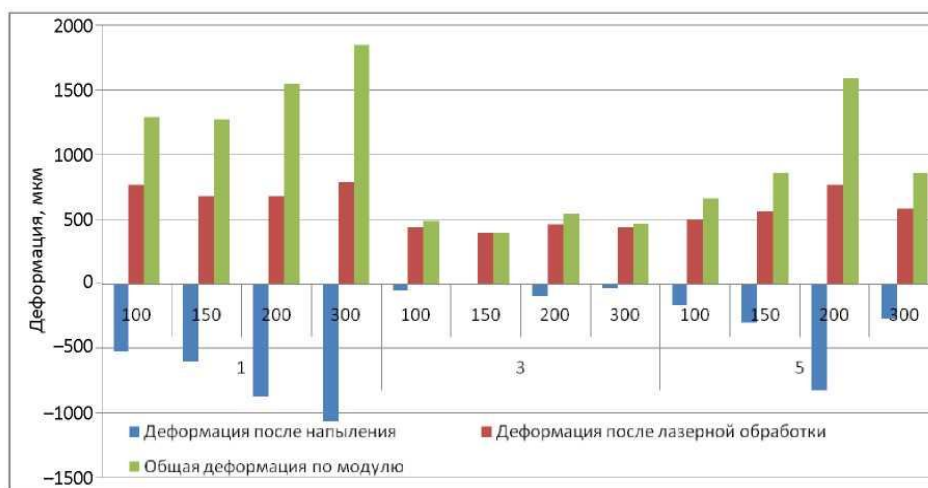


Рис. 2. Остаточные напряжения на разных этапах обработки

Оптимальные параметры получения покрытия из диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 плазменным напылением и ЛО следующие: время 3 ч, удельная энергия $E = 300 \text{ Дж/мм}^2$.

В процессе плазменного напыления действует большое число факторов, оказывающих влияние на свойства получаемых покрытий. Важнейшими из них, при прочих равных условиях, являются: расход плазмообразующего и транспортирующего газов, расход распыляемого порошка, ток электрической дуги (подводимая мощность), дистанция напыления, скорость перемещения подложки [6].

В качестве примера на рис. 3 представлены зависимости эффективности плазменного напыления при атмосферном давлении, характеризовать которые можно с помощью коэффициента использования распыляемого материала (порошка) КИП от перечисленных условий напыления.

Нанесение покрытия производили на следующих режимах: расход плазмообразующего газа азота 48–50 л/мин, ток 350–550 А, дистанция напыления 100–110 мм, фракция порошка 40–63 мкм, расход порошка 4,0–4,5 кг/ч; относительная скорость перемещения подложки $v_{\text{п}} = 300 \text{ мм/с}$.

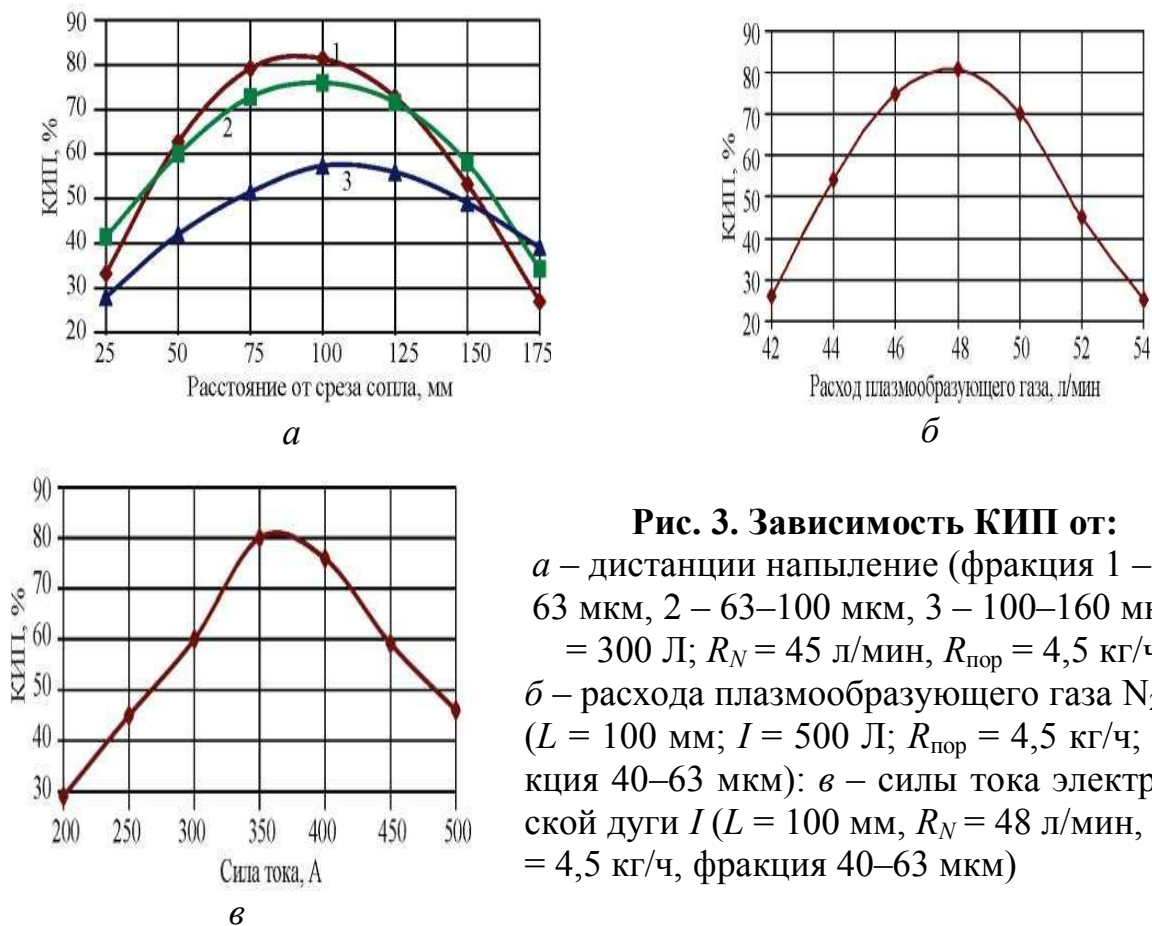


Рис. 3. Зависимость КИП от:

а – дистанции напыления (фракция 1 – 40–63 мкм, 2 – 63–100 мкм, 3 – 100–160 мкм, $I = 300$ Л; $R_N = 45$ л/мин, $R_{пор} = 4,5$ кг/ч);
б – расхода плазмообразующего газа N_2 ($L = 100$ мм; $I = 500$ Л; $R_{пор} = 4,5$ кг/ч; фракция 40–63 мкм);
в – силы тока электрической дуги I ($L = 100$ мм, $R_N = 48$ л/мин, $R_{пор} = 4,5$ кг/ч, фракция 40–63 мкм)

Структура покрытий, их химический и фазовый составы оказывают определяющее влияние на физико-механические свойства покрытий, в частности на пористость, прочность сцепления и износостойкость. В свою очередь, структура и состав покрытия зависят от энергетических характеристик плазменного напыления, эффективности теплообменных процессов между дисперсной и газовой фазами плазменной струи, состава, структуры и свойств применяемых материалов. На плотность покрытий, характер распределения фаз, а также на прочностные характеристики (износостойкость и прочность сцепления) большое влияние оказывает зернистость покрытий.

В подавляющем большинстве случаев разрушение деталей начинается с поверхности, поэтому чрезвычайно важно и экономически более целесообразно разработать технологию получения защитных и упрочняющих наноструктурированных покрытий плазменным напылением, свойства которых по прочности и пластичности недостижимы для традиционных моно- и поликристаллических структур. При этом возможна реализация одного из принципов нанотехнологии: создание объекта осуществляется не «сверху-вниз» (например, когда при формообразовании снимается припуск с заготовки), а «снизу-вверх», когда поверхность «достраивается» до не-

обходимых размеров детали, причем последняя приобретает новое качественное состояние (по точности, прочности, пластичности, износостойкости, коррозионной стойкости и др.).

Разработка оптимальной технологии плазменного напыления для восстановления, упрочнения деталей машин и оборудования и повышения их срока службы в рамках формулы «технология, новый материал, требуемая структура и свойства покрытия» обуславливают актуальность темы повышения физико-механических свойств плазменных покрытий и дальнейшей ее разработки и исследований.

Выводы.

Применение самофлюсующегося диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 позволяет получать покрытия с управляемой структурой и свойствами. При использовании различных режимов ЛО плазменных покрытий возможно управление пористостью (0,23–4,70 %), так как данный фактор является «наследуемым» параметром и на него влияют не только характеристики ЛО, но и время обработки.

На характеристики плазменных покрытий влияют параметры струи (ток, дистанция напыления, расход плазмообразующего газа азота), и фракционный состав исходного порошка. Структура покрытий, их химический и фазовый составы оказывают определяющее влияние на физико-механические свойства покрытий, в частности на пористость, прочность сцепления и износостойкость.

В подавляющем большинстве случаев разрушение деталей начинается с поверхности, поэтому чрезвычайно важно и экономически более целесообразно разработать технологию получения защитных и упрочняющих наноструктурированных покрытий плазменным напылением, свойства которых по прочности и пластичности недостижимы для традиционных моно- и поликристаллических структур.

Разработка оптимальной технологии плазменного напыления для восстановления, упрочнения деталей машин и оборудования и повышения их срока службы в рамках формулы «технология, новый материал, требуемая структура и свойства покрытия» обуславливают актуальность темы повышения физико-механических свойств плазменных покрытий и дальнейшей ее разработки и исследований.

Литература

1. Кудинов, В. В. Нанесение покрытий плазмой / В. В. Кудинов. – М. : Наука, 1990. – 406 с.

2. Куприянов, И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И. Л. Куприянов, М. А. Геллер. – Мн. : На-вука і тэхніка, 1990. – 175 с.

3. Ильюшенко, А. Ф. Формирование износостойких плазменных покрытий на основе композиционных самосмазывающихся материалов / А. Ф. Ильюшенко, В. А. Оковитый, А. И. Шевцов. – Мн. : Беспринт, 2005. – 253 с.

4. Ильющенко, А. Ф. Высокоэнергетическая обработка плазменных покрытий / А. Ф. Ильющенко, В. А. Оковитый, А. И. Шевцов; под общ. ред. А. Ф. Ильющенко. – Мн. : Беспринт, 2007. – 246 с.

5. Пантелеенко, А. Ф. Исследование морфологии и микроструктуры покрытий из диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9, полученных плазменным напылением с последующим лазерным модифицированием / А. Ф. Пантелеенко // Вестник БрГТУ. Сер. «Машиностроение». – 2012. – № 4. – С. 37–39.

6. Пантелеенко, Ф. И. Исследование процессов и оптимизация технологических параметров импульсно-плазменной обработки плазменных покрытий из материалов на основе многофункциональной оксидной керамики / Ф. И. Пантелеенко и др. // Тр. Междуна- р. науч.-техн. конф. «Инновации в машиностроении». – Кемерово, 2015.

*Кочурко-Станиславчик Ю.В., Голод О.И.,
Санюк И.В. Аппарат НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОТОРЫХ ПРИНИМАЕТ УЧАСТИЕ РЕСПУБЛИКА

Самым высоким уровнем стандартизации является международ- ный. Форма участия субъекта в работах по стандартизации с уче- том географических, политических и экономических аспектов оп- ределяет уровень стандартизации (рис. 1).

Современные темпы технического развития и либерализация международной торговли обеспечивают возможности для развития международного сотрудничества на основе применения междуна-

родных стандартов. В этой связи международная стандартизация – это стандартизация, открытая для всех стран.

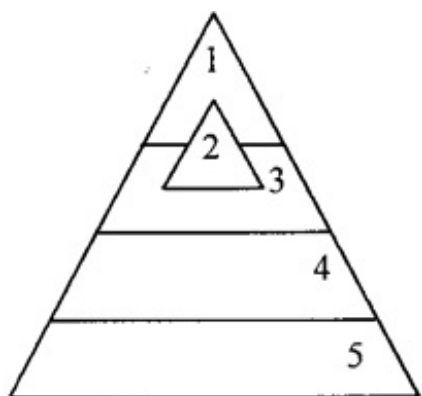


Рис. 1 – Уровни стандартизации: 1 – международная (ISO, IEC), 2 – региональная (EN, ГОСТ), 3 – национальная (СТБ, ГОСТ Р, ДСТУ, DIN), 4 – отраслевая (ОСТ, РД РБ), 5 – стандарты организаций (ТУ РБ, ТО РБ, СТП)

Важнейшей особенностью развития сотрудничества стран в области стандартизации в последнее время является количественный, структурный и функциональный рост международных организаций. На сегодняшний день в мире более 400 организаций, в той или иной мере занимающихся вопросами стандартизации.

Международная организация по стандартизации (ИСО) [International Organization for Standardization (ISO)] была создана по решению ООН в октябре 1946 года (рис. 2). Ее целью является содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для

облегчения международного товарообмена и взаимопомощи, а также для расширения сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности.

ИСО разрабатывает стандарты по всем направлениям кроме электротехники, радиоэлектроники и связи, которыми занимается Международная электротехническая комиссия (МЭК) [International Electrotechnical Commission (IEC)]. Ее цель – содействие международному сотрудничеству в решении вопросов стандартизации и смежных с ней проблем в области электротехники и радиоэлектроники.

Республика Беларусь является комитет-членом ИСО и МЭК с 1993 и 1994 года соответственно.

Кроме того, существует Европейская экономическая комиссия (ЕЭК) ООН (комитет по внутреннему транспорту), которая устанавливает Правила ЕЭК ООН, содержащие требования к механизированным транспортным средствам и дорожному движению. В 1995 году республика присоединилась к правилам, в соответствии с которыми проводится омологация транспортных средств. Омологацией (одобрением) называется подтверждение соответствия установленным правилам.

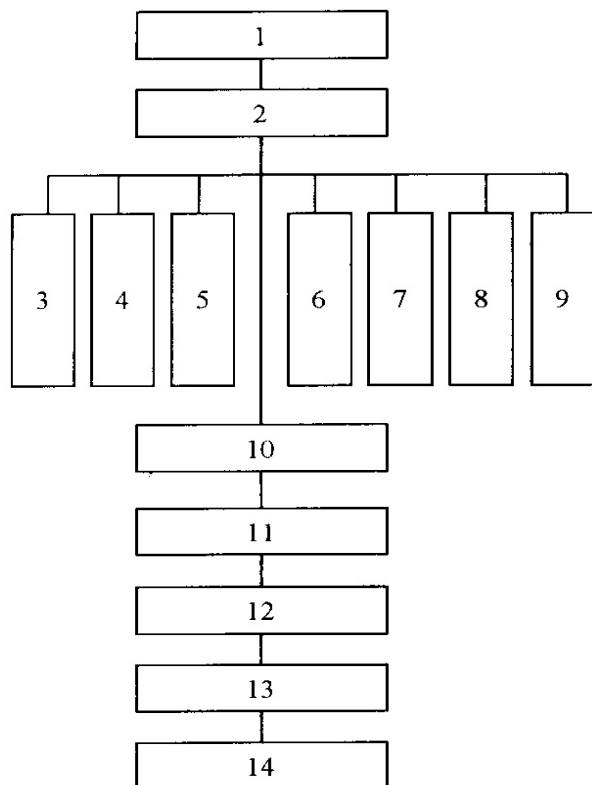


Рис. 2 – Структура ИСО:

1 – Генеральная ассамблея; 2 – совет ИСО; 3 – техническое бюро (ПЛАКО);
комитеты:

4 – по изучению научных принципов стандартизации (СТАКО);

5 – по оценке соответствия (КАСКО);

6 – по научно-технической информации (ИНФКО); 7 – по оказанию помощи развивающимся странам (ДЕВКО);

8 – по защите интересов потребителей (КОПОЛКО); 9 – по стандартным образцам (РЕМКО); 10 – исполком;

11 – центральный секретариат;

12 – технические комитеты;

13 – подкомитеты;

14 – рабочие группы

Одним из важнейших направлений в работе по международной и региональной стандартизации в настоящее время является проведение согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации в рамках Содружества Независимых Государств (СНГ).

Госстандарт Республики Беларусь, согласно принятому законодательству, наделен правом установления в стандартах Государственной системы стандартизации Республики Беларусь (ГСС) общих, единых организационно-технических правил проведения всех видов работ по стандартизации в любых сферах деятельности и на всех уровнях управления, а также форм и методов взаимодействия при этом субъектов хозяйствования друг с другом и государственными органами. Это право Госстандарт реализовал, приняв комплекс основополагающих стандартов ГСС:

Согласно принятому комплексу стандартов, объектами государственной стандартизации являются:

1. Организационно-методические и общетехнические нормы и требования включающие: классификацию и кодирование технико-экономической и социальной информации; термины и единый технический язык; обязательные требования к продукции;

2. Продукция широкого межотраслевого применения.

3. Объекты государственных научно-технических и социальных программ.

Объектами отраслевой стандартизации могут быть организационно-методические и общетехнические нормы и правила, характерные и используемые только в данной отрасли.

Объектами стандартизации в организациях являются:

1. Детали и сборочные единицы, применяемые только в данной организации и являющиеся составными частями изготавливаемой продукции.

2. Услуги, оказываемые внутри организации.

3. Нормы и правила в области организации производства, в том числе управления качеством продукции.

Стандарты, с одной стороны, устанавливают обязательные требования по безопасности, совместимости и взаимозаменяемости, а с другой стороны – дают рекомендации по потребительским показателям продукции, направленные на повышение ее качества и экономии ресурсов.

К обязательным требованиям относятся: обеспечение безопасности продукции для жизни, здоровья, имущества граждан, охраны окружающей среды, совместимость и взаимозаменяемость, требования к маркировке, методам испытаний, контроля и метрологическим характеристикам средств измерений.

Рекомендации касаются определенных видов продукции, работ или услуг и отражают их специфические особенности. Рекомендации становятся обязательными, если они указываются в договоре или технической документации изготовителя или поставщика продукции, исполнителя работ или услуг.

Цели стандартизации, установленные Законом Республики Беларусь от 5 января 2004 г. № 262-З «О техническом нормировании и стандартизации», полностью гармонизированы с аналогичными целями, принятыми в документах международных организаций по стандартизации:

- защита жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и охраны окружающей среды;
- предупреждение действий, вводящих в заблуждение потребителей продукции, работ и услуг относительно их назначения, качества и безопасности;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ и услуг, а также обеспечение соответствия их своему функциональному назначению, оптимизации и унификации их номенклатуры;
- устранение технических барьеров в торговле;
- единство измерений;

- техническая и информационная совместимость, а также взаимозаменяемость продукции;
- энергоэффективность и рациональное использование ресурсов (ресурсосбережение);
- научно-технологическая, информационная и военная безопасность.

Крот А.М. Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Шкурко В.В., Хейфец И.М. Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси, Минск, Беларусь

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

В настоящее время всеобщее управление качеством является не просто контролем качества товарной продукции, а представляет собой научные методы, применяющиеся на различных этапах жизненного цикла изделия в различных областях деятельности. При этом, вне зависимости от области деятельности, автоматизация контроля и применение программных средств являются общей тенденцией компьютеризации производства.

Спрос на повышение качества продукции и сокращение металлоемкости изделия имеет решающее значение для многих производителей, которые рассчитывают на использование технологии «Шесть сигм» – Six Sigma. Достижение лучшего в своем классе качества продукции требует постоянного анализа и контроля качества в режиме реального времени.

Производители и потребители программных средств осуществляют интеграцию всех систем компьютерного сопровождения в жизненном цикле изделия, то есть объединение компонентов в единую систему СИМ компьютерно интегрированного производства. Современное программное обеспечение для компьютеризированного обеспечения качества САQ должно иметь возможность встроиться в качестве отдельного модуля в создаваемую систему СИМ.

В настоящее время существуют и используются немногочисленные пакеты программ для обеспечения качества, которые отвечают этим требованиям. Ограниченное применение нашли пакеты MAP

(General Motors), AQUA (IBM), SoCplus (Hewlett Packard), mo-Quiss(SCS) и другие, но и они предназначены только для наиболее простых методов контроля.

Поэтому в промышленности наряду со специальными CAQ – системами, все чаще используются более универсальные и удобные в использовании пакеты программ по статистике, содержащие в себе процедуры, которые могут быть использованы в области обеспечения качества продукции. Самый известный из них STATISTICA или более удобный для пользователя в этой области STATGRAPHICS, а также обеспечивающий наиболее широкий спектр статистических методов SAS и другие позволяющие использовать менее распространенные методы контроля, такие как методы регулирования качества с использованием контрольных карт.

Сейчас на рынке программного обеспечения для CAQ – систем наиболее известны программные продукты крупных ведущих по различным направлениям автоматизации контроля фирм: QUALITY ANALYTIX® (CONICS, Inc.), SPC VISION (Infodream), PROCELLA, а также O-QIS (Q-DAS Inc.), THERMAVIEW™ (Soc Coop Bilanciai), CTRL (Thermatool Europe) и другие.

Изучение многочисленных описаний программного обеспечения ведущих производителей для контроля качества, представленных на специализированных сайтах (табл. 1) показало целесообразность предварительной классификации программного обеспечения (рис. 1) для последующего анализа характеристик программных средств (табл. 2).

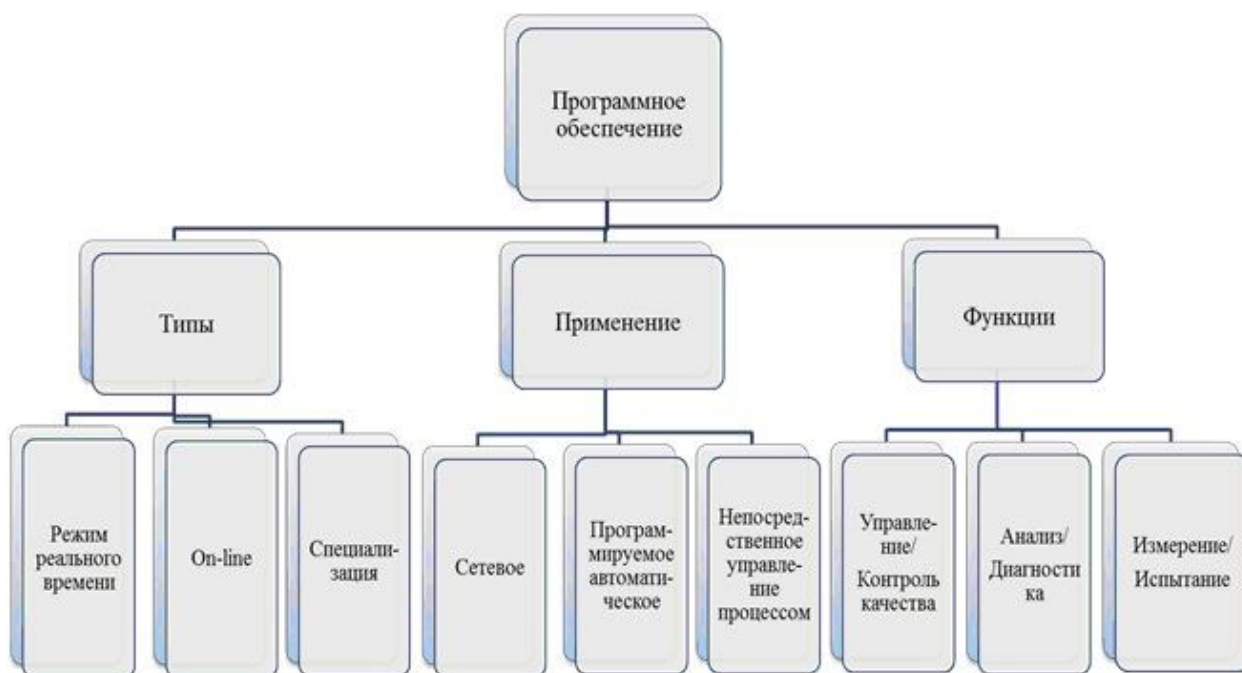


Рис. 1 – Классификация программного обеспечения для контроля качества

Таблица 1 – Описание программного обеспечения для контроля качества ведущих производителей

Программное обеспечение и производители	Описание возможностей, сферы применения и интеграции в производственные системы программного обеспечения
1	2
QUALITY ANALYTIX® (CONICS, Inc.)	Quality AnalytiX® – решение для анализа качества статистических процессов (SPC) в режиме реального времени, которое просто в использовании и применимо к любому приложению для мониторинга качества. Используя простые методы настройки и развертывания, Quality AnalytiX предлагает обширный набор расчетов SPC, диаграмм управления, представлений портальной панели управления и стандартных отчетов о качестве, которые могут применяться в различных комбинациях, чтобы помочь точно определить отклонения в качестве. Quality AnalytiX® позволяет операторам, персоналу по качеству, инженерам и руководству просматривать качественные данные SPC и другие производственные параметры, влияющие на качество продукции. Любой из обширного набора расчетов SPC к переменным процесса интегрирует данные SPC в выражения и логику для выполнения корректирующих действий, основанных на тенденциях процесса.
SPC VISION (Infodream)	Компании, имеющие ERP для управления всей своей деятельностью, такой как управление ресурсами, проектирование, производство, поставки и т.д., для работы в цеху должны располагать эффективным и интегрированным программным обеспечением SPC для сбора всех данных измерений и прослеживаемости продукции. Программное обеспечение SPC позволяет анализировать процессы и оборудование для получения значимых данных в режиме реального времени, которые помогут производству постоянно совершенствоваться. SPC Vision обеспечивает анализ процесса в режиме реального времени и обратную связь, выявляет потенциальные проблемы на самой ранней стадии и отправляет оповещения для принятия мер по предотвращению дефектов. SPC Vision – это комплексное решение, позволяющее лучше понять процесс.
PROCELLA (Q-DAS Inc.)	С помощью PROCELLA измерения и тестовые данные могут быть собраны вручную или взяты непосредственно с измерительных приборов/мультиплексоров с помощью интерфейсов. Собранные данные могут быть сохранены в файлах или сохранены в центральной базе данных. Хранимые и архивированные данные могут быть мгновенно визуализированы для количественной и качественной оценки.

1	2
	Прямая визуализация записанных значений в сочетании с отображением собранных данных позволяет заблаговременно распознать тенденции. Это позволяет оператору быстро выявлять возникающие проблемы и принимать корректирующие меры в процессе производства, не теряя времени. PROCELLA ведет оператора процесса через процедуру измерения, чтобы гарантировать быструю и точную регистрацию измеренных значений.
O-QIS (Q-DAS Inc.)	O-QIS содержит необходимые характеристики процесса для того чтобы обеспечить потребителя продукции или лабораторию метрологии производителя должной оценкой качества. Пакет программ покрывает как стандартное статистическое управление производственным процессом, так и он-лайн визуализирование и сигнал тревоги.
THERMAVIEW TM (Soc Coop Bilanciai)	ThermaView – это диагностическое программное обеспечение, предназначенное для предоставления операторам в реальном времени графического отображения параметров процесса сварки, включая выходную мощность, частоту тока сварки и сопротивление. ThermaView также является мощным инструментом для профилактического технического обслуживания и предоставляет простые в использовании индикаторы для поиска и устранения неисправностей. Отображая исторические тренды параметров сварки, ThermaView также может обеспечить раннее предупреждение об условиях, которые могут привести к остановке системы, если они не будут быстро исправлены. Справочные экраны описывают характер неисправности, ее возможную причину и, что более важно, рекомендуемые меры по ее устранению. К ThermaView можно получить удаленный доступ через соединение Ethernet, что обеспечивает дистанционную диагностику в режиме реального времени. Удаленный доступ также облегчает круглосуточный мониторинг характеристик для приложений статистического контроля процессов (SPC).
CTRL (Thermatool Europe)	Контроль за точным взвешиванием изделия, обеспечивает защиту потребителя и экономию производителя, который имея автоматический контроль, последовательно и постоянно устраняет риск передозировки. В результате потребителю гарантируется идеальное соответствие упаковки и исключаются возможные споры.

Анализ программного обеспечения ведущих производителей (табл. 2) показал, что они предназначены в основном для наиболее простых стандартизированных методов контроля или имеют специализированные области применения.

Таблица 2 – Анализ характеристик программного обеспечения для контроля качества ведущих производителей

Программное обеспечение и производители	Типы			Применение			Функции		
	Режим реального времени	On-line	Специализация	Сетевое	Программируемое автоматическое	Непосредственное управление процессом	Управление/Контроль качества	Анализ/Диагностика	Измерение/ Испытание
QUALITY ANALYTIX® (CONICS, Inc.)	+	-	-	-	-	-	Контроль качества	Анализ	Измерение
SPC VISION (Infodream)	+	+	-	-	-	-			
PROCELLA (Q-DAS Inc.)	-	-	-	-	-	-	Управление качеством		
O-QIS (Q-DAS Inc.)	-	+	+	-	-	-	Контроль качества	Диагностика	Испытание
THERMAVIEW™ (Soc Coop Bilanciai)	+	+	+	+	+	+	Управление качеством		Измерение
CTRL (Thermatool Europe)	-	-	+	-	-	-	Контроль качества		Испытание

В этой связи необходима разработка программных средств применения инструментов и техник контроля, анализа и управления существенно нелинейными многофакторными процессами для обеспечения качества изделий. При этом методические основы программных средств, следует базировать на построении многоуровневых моделей технических систем.

Курзина Е.Г., Курзина Н.М. Российский
университет транспорта,
Колмаков А.Г. Институт металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова РАН,
Москва, Россия
Хейфец М.Л. ОАО «НПО «Центр» НАН Беларуси,
Минск, Беларусь

УПРОЧНЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ КОМПОЗИТОВ КОРОТКИМИ ВОЛОКНАМИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ

Развитие современной техники требует создания новых конструкционных материалов, превосходящих по своим прочностным, упругим и другим свойствам, а также себестоимости, традиционные. К числу перспективных относятся полимерные композиционные материалы. Одним из способов достижения требуемых свойств является физическая модификация путем механического смешения полимерной матрицы и кордного наполнителя.

Применение резиноволокнистых композитов – резин, наполненных короткими волокнами различной природы, позволяет сочетать традиционную технологию изготовления резин с приданием им ряда специфических свойств: анизотропию механических свойств; возможность регулирования модулей; сочетание жесткости и гибкости материала; повышенное сопротивление разрушению при ограниченных деформациях, что обуславливает стабильность размеров изделий при длительном действии напряжений. Технологическим преимуществом резиноволокнистых композитов с короткими волокнами по сравнению с резинокордными системами является возможность существенного снижения трудоемкости изготовления изделий, исключение ряда переделов и операций, входящих в технологические схемы производства, сокращение потребности в дополнительных производственных площадях и оборудовании.

В связи с очевидной перспективностью использования резиноволокнистых композитов в качестве демпфирующих материалов для железнодорожной и автомобильной техники, проведено сравнение упруго-гистерезисных свойств ненаполненного резинового композита и наполненного измельченными отходами обрезаемого

го полиамидного корда шинного производства в количестве 20% от общей массы.

В процессе эксплуатации демпфирующие элементы испытывают воздействие сжимающих динамических нагрузок, поэтому основными показателями их эффективной работы являются динамическая жесткость и механические потери за цикл деформации.

Анализ влияния кордного наполнителя на упруго-гистерезисные свойства материалов на основе резиновой смеси показал, что динамическая жесткость резинокордного композита при температуре $+23^{\circ}\text{C}$ выше на $\sim 20\%$ резинового композита, т.е. пропорционально количеству кордного наполнителя, что целесообразно использовать в конструкциях амортизаторов для стабилизации геометрических параметров при длительном действии напряжений, ограничения нежелательных деформаций, особенно при повышенных температурах.

Отмечено, что при температуре -40°C различие между параметрами жесткости резинового и резинокордного композитов практически исчезает, что связано с нарушением аддитивного действия компонентов (матрицы и наполнителя), а также началом процесса кристаллизации резиновой матрицы, при котором жесткость основной матрицы и резиноволокнистого наполнителя становятся практически сопоставимы (рис. 1).

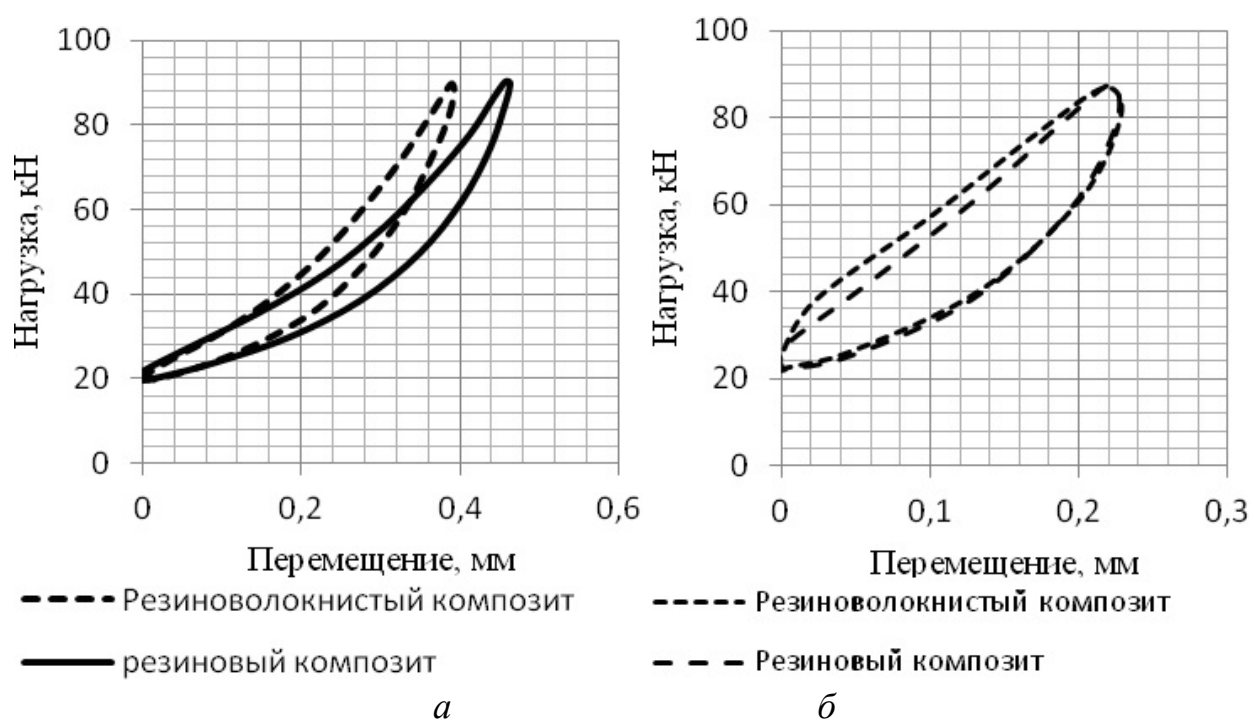


Рис. 1 – Динамический гистерезис полимерных композитов при температурах $+23^{\circ}\text{C}$ (а), -40°C (б), амплитуде 20-90 кН, частоте воздействия 10 Гц

Механические потери резиноволокнистого композита за цикл деформации при положительных и отрицательных температурах практически сопоставимы. Причем, при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ они становятся равными потерям ненаполненного резинового композита. Следовательно, наличие кордового наполнителя снижает механические потери при положительных температурах, т.к. с увеличением жесткости материал работает более упруго. Рассеивание энергии при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит только за счет эластичной работы связующей резиновой матрицы, в которой начинают происходить процессы кристаллизации (рис. 2).

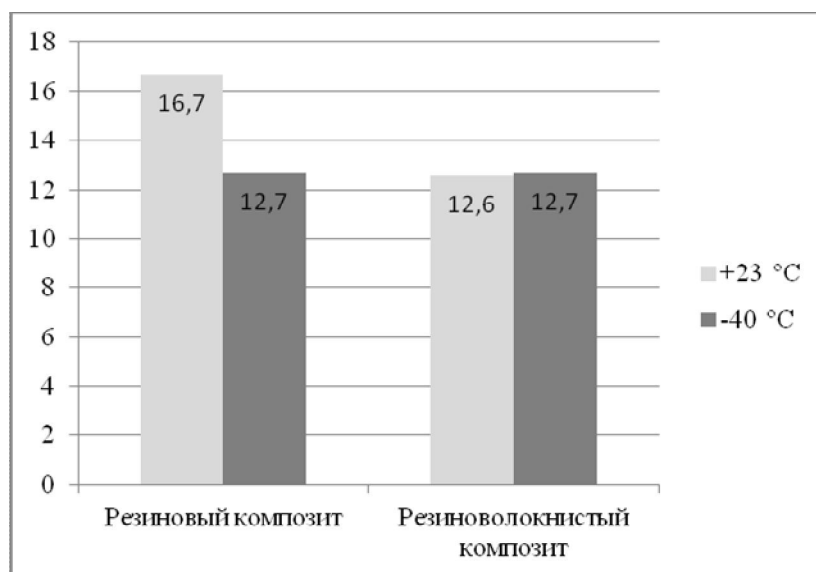


Рис. 2 – Механические потери за цикл деформации полимерных композитов при температурах $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, амплитуде 20–90 кН, частоте воздействия 10 Гц

Таким образом, применение резиноволокнистых композитов в качестве демпфирующих элементов транспортных конструкций упрочняет амортизатор, обеспечивает эффективное гашение вибраций при различном температурном воздействии, стабилизирует геометрические параметры при длительном действии напряжений, ограничивает нежелательные деформации, особенно при повышенных температурах. Применение в качестве наполнителей отходов шинного обрезиненного корда значительно удешевит конечный продукт.