

Глава 21

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

А.Ф. ИЛЬЮЩЕНКО, М.А. АНДРЕЕВ,
Е.Д. МАНОЙЛО

Сегодня защитные покрытия различного функционального назначения все более широко используются практически во всех отраслях машиностроения, в инструментальной промышленности, в микроэлектронике, медицинской технике и т.д. Существует множество широко распространенных методов и технологий формирования защитных покрытий, которые с той или иной степенью успешности применяются в промышленности, обеспечивая конкурентоспособность машин и механизмов, а также других изделий, работающих в различных условиях эксплуатации.

Высокоэффективные защитные покрытия с необходимыми функциональными характеристиками можно поручить, используя новые перспективные технологии формирования покрытий.

Когда мы говорим о **«новых технологиях»**, мы подразумеваем использование нового или модернизированного оборудования, новых перспективных материалов, или же применение комбинации известных физических процессов и технологических приемов, с помощью которых мы получаем на поверхности изделия покрытия с качественно новым комплексом необходимых эксплуатационных характеристик.

В ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» Государственного научного учреждения «Институт порошковой металлургии» развиваются и совершенствуются физические методы формирования защитных покрытий, с помощью которых специалисты института способны решать практически весь комплекс задач по нанесению покрытий различного функционального назначения.

Каждое направление развивается в рамках соответствующих лаборатории института. Это – лаборатории:

- газопламенного напыления;
- вакуумных покрытий.
- плазменного напыления;

Толщина формируемых всеми методами покрытий охватывает достаточно широкий диапазон величин – от долей микрон до сантиметров.

Сегодня, наряду с технологиями формирования износостойких, упрочняющих, коррозионностойких, твердосмазочных и других функциональных покрытий на новых изделиях все более востребованными становятся технологии восстановления деталей машин и механизмов. Одним из эффективных методов восстановления изношенных деталей сегодня является газопламенное напыление.

ГАЗОПЛАМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Основными свойствами, определяющими качество покрытий, являются их прочность, твердость, пористость и химсостав. Повысить их в процессе напыления можно путем управления скоростью, температурой и теплосодержанием частиц и подложки в момент их контактного взаимодействия.

Газопламенное напыление является одним из наиболее широко распространенных порошковых процессов формирования на деталях слоев покрытий с необходимыми функциональными свойствами, характеризующихся высокими скоростями нагрева и охлаждения напыляемого материала. Незначительное время взаимодействия материалов покрытия и основы с окружающей средой сопровождается ограниченным насыщением системы «покрытие-подложка» газами (кислородом, азотом и др.). Однако полного спекания частиц, при напылении не происходит. Напыленный слой, как правило, имеет недостаточную прочность, повышенную пористость и включения оксидов. Но при осуществлении методов высокоскоростного газопламенного напыления прочность сцепления покрытия с подложкой достигает 160 МПа, а пористость - около 0,5%.

С 1982 года в «Институте порошковой металлургии» НАН Беларуси ведутся работы по созданию процессов газопламенного напыления покрытий. В 1982-1987 г. на предприятиях Минлегла РБ (Могилевском КШТ, Жлобинской ФИМ, Барановическом ПХБО, Витебском ковровом комбинате и др.) были созданы участки газопламенного напыления защитных покрытий для восстановления-упрочнения быстроизнашивающихся деталей технологического оборудования.

Для их эффективной работы недостаточно наличия только аппаратуры для напыления покрытий. Необходимо создание специального технологического оборудования: для подготовки поверхности перед напылением, оборудование для вращения детали и перемещения аппарата-распылителя.

Для этих целей в 1992 г. было создано научно-производственное предприятие по газопламенной обработке материалов «ТЕНА», которое осуществило создание и производство комплекта технологического оборудования для участка газопламенного напыления покрытий. В настоящее время предприятием «ТЕНА» производится комплект технологического оборудования, который включает: установку струйно-абразивной обработки камерного типа деталей длиной до 1300 мм - УСАО-1300, камеру полуавтоматического напыления покрытий КПАН-1300, установку струйно-абразивной обработки «беспыльную» - УСАО-БП, с циклоном и вакуумным отсосом пыли, установку для струйно-абразивной обработки и напыления покрытий на детали длиной до 2000 мм – вращатель ДМВ-2000.

Установка струйно-абразивной обработки ТЕНА-УСАО-1300 (рисунок 1) камерного типа предназначена для очистки и создания заданной шероховатости на поверхностях деталей, подлежащих покрытию методами газотермического напыления. Установка ТЕНА-УСАО-1300 состоит из камеры, внутри которой, на направляющих, смонтированы: люнеты, подвижная каретка и поворотный стол. На левой стенке закреплен привод вращения с патроном. Для абразива служит бункер, к нижнему фланцу которого прикреплен дозатор, с инжектором для подачи абразива к аппарату. В потолке камеры имеется окно для подключения вытяжной вентиляции. В правой стенке камеры предусмотрено отверстие для прохода длинномерных валов. В двери выполнены отверстия для рук, закрытые резиновыми лепестками.



а – общий вид; б - открытое положение; в - струйно-абразивный аппарат.

Рис. 1. Установка ТЕНА-УСАО-1300.

Важной особенностью установки УСАО-1300 является наличие двух инжекторов: первого - для подачи дробы от бункера к соплу аппарата и второго, в аппарате – для дальнейшего ускорения и транспортировки абразива к обрабатываемой поверхности. Это позволяет более эффективно использовать энергию при обработке изделий. Снабжение установки УСАО-1300Пв приводом вращения позволило повысить качество обработки деталей типа «вал». В настоящее время установки эксплуатируются в Беларуси: на Хойникс-ком ремонтном заводе, Березовском мотороремонтном заводе, Беларусском металлургическом заводе и др. предприятиях, а также на предприятиях Украины, России и Израиля.

Установка струйно-абразивной беспыльной обработки ТЕНА-УСАО-БП (рис. 2) предназначена для очистки металлических поверхностей от ржавчины, окалина, старой краски и т.п., при окраске, газопламенном напылении, нанесении специальных покрытий и сварке.



а – общий вид установки; б – процесс струйно-абразивной обработки;
в – головка аппарата струйно-абразивного.

Рис. 2. Установка ТЕНА-УСАО-БП

Тип установки: однокамерная, нагнетательная, циклического действия, с вакуумным отсосом пыли. Важной особенностью установки ТЕНА-УСАО-БП является наличие специальной системы очистки отходящего воздуха, состоящей из циклона, и фильтра, обеспечивающего улавливание и уплотнение пыли, с последующим сбросом в накопитель, что позволяет ее по мере накопления легко удалять.

Камера полуавтоматического напыления ТЕНА-КПАН-1300 (рис. 3) предназначена для вращения деталей типа "вал" и продольного перемещения аппарата - распылителя при газопламенном нанесении покрытий. Она может применяться в единичном, мелкосерийном и ремонтном производствах.



а) общий вид; б) процесс нанесения покрытия шнуровым материалом «Sfecord» аппаратом ТЕНА-Уэ.

Рис. 3. Камера полуавтоматического напыления ТЕНА-КПАН-1300 с пультом управления газами ТЕНА-ПУГ

Камера (рис. 3) состоит из корпуса, внутри которого установлен вращатель и блок управления. Вращатель включает направляющие, на которых смонтированы модуль приводов с патроном для крепления обрабатываемой детали, каретка с укрепленной на ней направляющей, задняя бабка с вращающимся центром, цепь привода каретки и узел натяжения цепи.

Для задания величины хода каретки установлены бесконтактные конечные выключатели и подвижные флажки. Задняя бабка перемещается по направляющей и фиксируется рукояткой в необходимом месте.

Длинномерный вращатель ТЕНА – ДМВ – 2000 (рис. 4) предназначен для вращения детали типа «вал» длиной до 2000 мм, диаметром до 400мм и массой не более 200 кг. Он может применяться в единичном, мелкосерийном и ремонтном производствах.



а



б

а) общий вид; б) процесс струйно-абразивной обработки.

Рис. 4. Вращатель ТЕНА – ДМВ – 2000

Длинномерный вращатель ТЕНА – ДМВ – 2000 состоит из смонтированных на опорах двух трубчатых направляющих, на которых расположены тележка, бабки - левая и правая, снабженные шпинделями с токарными патронами для крепления обрабатываемой детали. В опорах расположены привод перемещения тележки и узел натяжения цепи. На тележке закреплены кронштейны с фиксаторами для крепления аппарата-распылителя и пульта ручного управления в требуемом положении, установка струйно-абразивной обработки ТЕНА-УСАО-Ц, локальный пылеприемник. Вращатель ТЕНА – ДМВ – 2000 позволяет выполнять в полуавтоматическом режиме струйно-абразивную обработку аппаратами беспыльного ТЕНА-УСАО-БП и специального ТЕНА-УСАО-Ц типа, газопламенное напыление покрытий из порошков аппаратами типа ТЕНА-Ппм, и материалов в форме проволок и гибких шнуров "СФЕКОРД" аппаратами типа ТЕНА-ГШ и ТЕНА-Уэ, оплавление покрытий из самофлюсующихся сплавов, а также газопорошковую наплавку деталей аппаратами типа ТЕНА-ГНпм.

Горелка наплавочная повышенной мощности ТЕНА-ГНпм (рис. 5) предназначена для нанесения защитных покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов на основе никеля или кобальта при восстановлении изношенных или упрочнении новых деталей и исправления дефектов механической обработки или литья.

Горелка состоит из корпуса, на котором смонтированы шариковые краны управления расходами кислорода и горючего газа. Сверху корпуса расположена емкость для порошка и рычаг управления подачей порошка. Корпус заканчивается рукояткой, в торец которой ввинчены штуцеры с ниппелями и накидными гайками для подсоединения шлангов для подачи рабочих газов.



Рис. 5. Горелка наплавочная повышенной мощности ТЕНА-ГНпм

Установка для газопламенного нанесения покрытий из порошковых материалов (рис. 6) состоит из аппарата - распылителя повышенной мощности ТЕНА-Ппм, пульта управления газами ТЕНА-ПУГ, подставки и комплекта соединительных шлангов.



а



б



в

а – общий вид; б – аппарат низкоскоростного и в – аппарат высокоскоростного газопламенного напыления.

Рис. 6. Установка для газопламенного нанесения покрытий ТЕНА-Ппм повышенной мощности

Аппарат ТЕНА-Ппм повышенной мощности предназначен для нанесения защитных покрытий при восстановлении изношенных и упрочнении новых деталей порошков. Аппарат состоит из корпуса, на котором закреплены: снизу - рукоятка с плунжерным краном управления кислородом и горючим газами, сверху - бункер с механизмом управления подачей порошка. На переднем конце корпуса расположен сменный модуль, а на заднем - игольчатый кран управления расходом транспортирующего порошок газа. Аппарат обеспечивает работу при использовании горючих газов пропан бутана или МАФ, кислорода и сжатого воздуха.

Для нанесения покрытий аппаратом низкоскоростного напыления (рис. 6 б) применяется широкая номенклатура порошков, основными из которых являются твердые самофлюсующиеся сплавы на основе никеля и кобальта с последующим оплавлением, а также другие материалы отечественных и зарубежных фирм, пригодные для этого процесса. Для нанесения покрытий аппаратом высокоскоростного напыления (рис. 6 в) применяется чистые металлы, сплавы на основе железа, алюминия, меди, никеля, и др. материалов, экзотермически реагирующие никель алюминиевые композиты, интерметаллиды, аморфные соединения и полимеры, в том числе различные композиций на их основе.

Обычно технология восстановления и упрочнения изношенных поверхностей деталей включает снятие дефектного слоя, например, шлифованием, струйно-абразивную обработку для придания нужной степени шероховатости напыляемой поверхности и газопламенное напыление слоя покрытия требуемой толщины из материала, обеспечивающего требуемые свойства, определяемые чертежом. Для этого могут использоваться материалы в виде проволоки, порошков чистых металлов и сплавов, их механические смеси.

Для нанесения покрытий из шнуровых и проволочных материалов в 1992 г. предприятием «ТЕНА» был разработан и изготовлен аппарат «ТЕНА-ГШ» и универсальный пульт управления газами, обеспечивающий требуемые режимы процесса при работе аппарата-распылителя. Совместными усилиями ОХП «Институт сварки и защитных покрытий» и предприятия «ТЕНА» были разработаны технологии и оборудование для газопламенного напыления покрытий из проволок, шнуров типа «Сфекорд», порошков, а также газопорошковой наплавки, которые успешно используются, как на предприятиях республики так и за ее пределами для упрочнения новых и восстановления изношенных деталей различного функционального назначения.

В 1996 -2001 г.г. в НИИ «Порошковой металлургии» нами разработаны и внедрены технологии газопламенного напыления износо-коррозионно стойких покрытий проволоками из Zn, Al и Cu. Технология газопламенного напыления проволочного алюминиевого покрытия аппаратом «ТЕНА-ГШ», для защиты от коррозии корпуса диффузионного аппарата, используется на

Городейском и Слуцком сахарных комбинатах да настоящего времени. Ранее на предприятиях использовалась технология электродугового напыления покрытий. Пористость покрытий составляла 8-13%. Использование технологии газопламенного напыления позволило снизить пористость покрытий до 1,5-2,5 %, уменьшить толщину слоя, сократить время напыления и материальные затраты в два раза, при меньшей запыленности атмосферы. Были разработаны также технологии газопламенного напыления цинкового покрытия на закладные детали автовокзала «Московский», г. Минск, медного покрытия – на валы печатных машин и алюминиевого покрытия – на криволинейный брус отбойника дорожного полотна.

В 1996 г. была создана технология напыления композиционного двухслойного покрытия «цинк - Полиамид-11» газопламенным напылением проволоки и порошка для защиты от абразивно-коррозионного износа внутренней поверхности кузовов - разбрасывателей солепесчаной смеси ПО «Белкоммунмаш» (г. Минск). Цинковый слой наносился из проволоки диаметром 2 мм аппаратом «ТЕНА-ГШ». На этот слой газопламенным аппаратом-распылителем «ТЕНА-П» наносился порошок Полиамид-11 - «Рильсан» (Франция). Опыт эксплуатации изделий с таким покрытием оказался положительным.

В 2001-2005 г., на основании результатов исследований основных свойств и структурных особенностей исходных порошков и покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава ПГ-10Н-01, были разработаны технологии газопламенное напыление износостойких покрытий на детали сельхозмашин, защитных втулок насосов ЗАО «Гидродинамика» (г. Минск) и прокатных роликов металлургического производства РУП «Белорусский металлургический завод» (г. Жлобин).

Анализ условий работы защитных втулок насосов и прокатных роликов показал, что в процессе эксплуатации они подвергаются воздействию высокотвердых продуктов износа при высоких значениях скоростей трения и удельных давлений. Рабочие поверхности защитных втулок насосов и прокатных роликов металлургического производства имеют высокую твердость (58-64 HRCэ). Недостаточный срок службы роликов, дефицит инструментальных сталей и необходимость их импорта требуют поиска путей увеличения срока их службы и более приемлемых технологий. Чтобы обеспечить высокий срок службы, необходимо изготавливать эти детали из материалов, имеющих высокую прочность, твердость и низкий коэффициент трения. Для этих целей наиболее пригодны методы газопламенного напыления покрытий из многокомпонентных высокотвердых самофлюсующихся сплавов с последующим оплавлением.

На рисунке 7 показаны защитные втулки насосов и прокатные ролики металлургического производства.



Рис. 7. Защитные втулки насосов *а* и прокатные ролики металлургического производства *б*

Газопламенное напыление покрытий осуществлялся в два этапа: первый – напыление слоя необходимой толщины, второй – оплавление его путем нагрева изделия до температуры плавления материала покрытия, равной 1323-1373 К. После оплавления прочность сцепления покрытия с основой достигает 45 МПа, при отсутствии пор и твердости, достигающей 62...64 HRCэ.

При традиционном газопламенном напылении порошков самофлюсующихся твердых сплавов получают покрытия с пористостью – 15-20 % и прочностью сцепления со стальной под-

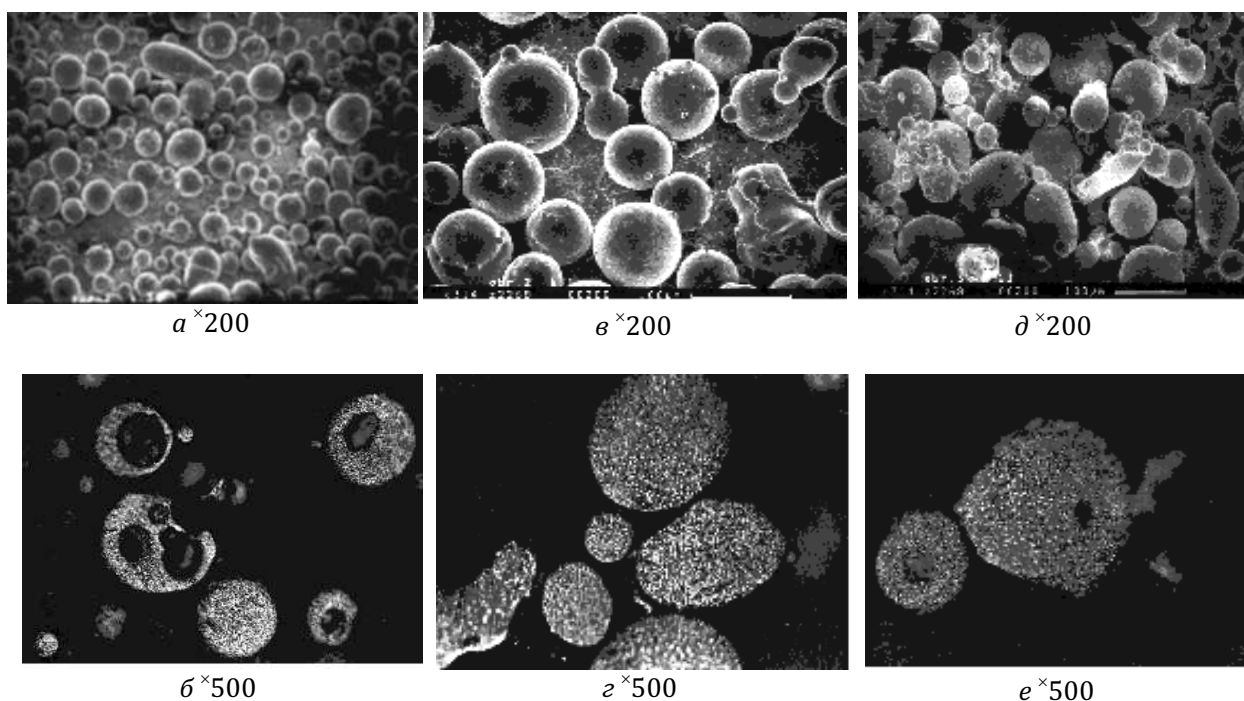
ложкой, равной 10-15 МПа. В случае наличия пор в оплавленном покрытии, невозможно обеспечить высокий класс чистоты после его финишной обработки, а также износостойкость, особенно деталей, работающих в тяжелых условиях трения, таких как защитные втулки насосов и прокатные ролики металлургического производства. Чтобы исключить поры после оплавления и обеспечить прочные связи, необходимо напылить покрытия с пористостью, не превышающей 7-10 %.

Возможность применения порошков для газопламенного напыления покрытий на детали узлов трения, подлежащие упрочнению, определялась по критерию твердости: защитные втулки насосов и ролики прокатного производства - более 55 HRC_э. Наиболее соответствуют указанным требованиям порошки самофлюсующихся сплавов, марки, химический состав и твердость которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Марки и химический состав порошков и твердость покрытий

Марка	Содержание компонентов, % (по массе)						
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni	HRC _э
ПГ-10Н-01	14-20	2,8-3,4	4,0-4,5	3-4	0,6-1	Основа	55...62
ПР-Н70Х17С4Р4	16-18	3,1-4,0	3,8-4,5	До 5	0,8-1,2	Основа	>55

Порошок ПГ-10Н-01 предназначен для газопорошковой наплавки, а ПР-Н70Х17С4Р4 - для газопламенного напыления с последующим оплавлением. Данные материалы имеют температуру плавления $T_m=1323...1373$ К.



а, б - ПГ-10Н-01; в, г - ПР-Н70Х17С4Р4; д, е - 50%ПГ-10Н-01+ ПР-Н70Х17С4Р4

Рис. 8. Фрактограммы и микроструктура порошков самофлюсующихся твердых сплавов

На рисунке 8 представлены фрактограммы и микроструктуры порошков и механической смеси.

Из рисунка 8 а видно, что частицы порошка ПГ-10Н-01 имеют форму, близкую к сферической, а их размеры соответствуют паспортным данным: до 10 % - $d_p=71...100$ мкм, 35...40 % - $d_p<40$ мкм и 50...55 % - $d_p=40...71$ мкм. Значительное количество частиц имеют поры, что связано с процессом производства - распылением водой. На поверхности частиц имеются мелкие вклю-

чения. Структура частиц мелкозернистая (рис. 8 б), состоит из эвтектики, с распределенными в ней карбидами, боридами и их соединениями.

Форма частиц порошка ПР-Н70Х17С4Р4 (рис. 8 в) близка к шаровидной, однако на поверхности их видны дефекты в виде наслоений и мелкодисперсных полусфер. Размеры частиц соответствуют паспортным данным: менее 5% - больше 100 и меньше 40 мкм, а около 95% - $d_p=40\ldots100$ мкм. Структура частиц – мелкодисперсная (рис. 8 г), беспористая, содержит аналогично ПГ-10Н-01 включения карбидов, боридов, а также их соединений.

Частицы механической смеси самофлюсующихся порошков 50 % ПГ-10Н-01+ ПР-Н70Х17С4Р4 (рис. 8 д) сочетают сфероподобную форму с большим количеством мелких частиц. Структура – подобна структуре частиц, составляющих смесь (рис. 8 е).

При оплавлении покрытий из порошков ТЗНТС была установлена повышенная, а порошков НПО «Тулачермет» - недостаточная жидкотекучесть расплава, что в первом случае обеспечивает очень гладкую поверхность слоя, а во втором – более грубую. Однако повышенная жидкотекучесть в процессе оплавления затрудняет удержания расплава на поверхности изделия, а недостаточная – усложняет распределение материала на поверхности, что приводит к перегревам и браку из-за трудности контроля его температуры.

Учитывая указанные особенности каждого из материалов, нами исследовались порошки ПГ-10Н-01, ПР-НХ17С4Р4 и равные доли их механической смеси, наиболее подходящие по твердости для напыления покрытий на защитные втулки и ролики. Результаты измерения микротвердости исследуемых порошков приведены в таблице 3.

Таблица 3. Микротвердость порошков

Марка порошка	Микротвердость, кгс/мм ²						
	1	2	3	4	5	6	Ср.
ПГ-10Н-01	805,2	1007,2	850,1	970,6	950,3	862,4	917,5
ПР-Н70Х17С4Р4	1197,2	1049,3	1006,0	809,8	841,0	946,0	974,9
50%ПГ-10Н-01+ ПР-Н70Х17С4Р4	726,1	889,0	946,0	965,4	1027,3	1119,6	945,6

Из табл. 3 видно, что средние значения микротвердости исследуемых порошков близки между собой, а их отличие составляет около 5 %.

Таблица 4. Режимы работы газопламенного аппарата-распылителя ТЕНА-Ппм при напылении покрытий

Материал покрытия	Расход порошка, кг/час	Подача аппарата, см/мин	Давление и расход газов				
			Давление, МПа			Расход, л/ч	
			кислород	пропан	воздух	кислород	пропан
ПГ-10Н-01	7-8	80	4,2	0,8	4,0	3200	800
ПРН70Х17С4Р4	7-8	80	4,2	0,8	4,0	3200	800
50%ПГ-10Н-01+ ПР-Н70Х17С4Р4	7-8	80	4,2	0,8	4,0	3200	800

Газопламенное нанесение покрытий на исследуемые образцы производили в два этапа: первый – напыление слоя необходимой толщины, а второй – оплавление напыленного слоя путем нагрева подложки горелкой ГЗУ-4 до температуры плавления материала покрытия, равной $T_m=1323-1373$ °K.

Основные технологические режимы процесса газопламенного напыления порошковых покрытий из самофлюсующихся сплавов, влияющие на их качественные параметры, приведены в таблице 4.

ВАКУУМНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В настоящее время в Республике Беларусь, да и во всем постсоветском пространстве сложилась ситуация, когда парк действующего вакуумного оборудования для нанесения покрытий оказался устаревшим не только физически, но и морально.

Один из наиболее дешевых путей дальнейшего развития и совершенствования вакуумных технологий при сегодняшнем состоянии вакуумной техники – это модернизация существующего вакуумного оборудования для нанесения покрытий, которая направлена на:

- расширение его технологических возможностей (расширение номенклатуры обрабатываемых изделий и областей применения);
- повышение эксплуатационных характеристик изделий с покрытиями;
- повышение качества формируемых покрытий (повышение адгезии, уменьшение пористости);
- возможность применения новых композиционных материалов для создания покрытий различного функционального назначения;
- автоматизацию технологических процессов формирования покрытий.

Решение каждой из перечисленных задач требует тщательной проработки на всех этапах – создание конструкторской документации, изготовление узлов и блоков единиц новой техники, разработка технологических процессов.

Для расширения технологических возможностей вакуумного оборудования нами применяются новые источники генерации плазменных потоков, которые дополнительно встраиваются в вакуумные камеры установок и, таким образом, создается возможность значительно повышать эффективность процессов нанесения вакуумных покрытий.



Рис. 9. Размещение фланцевого ионного источника «Аида» на камере установки вакуумного напыления ННВ-6.6-И1

Использование фланцевого варианта автономного ионного источника типа «Аида» (рис. 9) позволило независимо регулировать энергию и плотность тока ионов, поступающих на обрабатываемое изделие. При обработке изделий ионным потоком нейтрального газа (Ar) происходит их очистка, а также активация поверхностного слоя. Эта операция во многих случаях позволяет исключить стадию нагрева изделия бомбардировкой ионами металлов или значительно сократить ее по времени.

Таким образом, появляется возможность снизить температуру процесса формирования функционального покрытия, а, следовательно, и температуру обрабатываемого изделия не ухудшая адгезионных характеристик сформированных покрытий.

Хорошие результаты по повышению адгезионных характеристик вакуумных покрытий достигаются и при использовании технологии нанесения покрытий методом электродугового

испарения с «ионным ассистированием», когда ионный источник работает во время процесса формирования покрытия.

Одним из направлений развития вакуумных технологий является применение вакуумных покрытий в технологии изготовления фрикционных дисков.

В Институте создано вакуумное оборудование и разработана технология формирования медного покрытия на заготовках фрикционных дисков.

Медное покрытие на заготовке фрикционного диска толщиной 2 – 5 мкм, во-первых, необходимо для повышения адгезии фрикционного слоя, припекаемого на последующей операции к заготовке с покрытием, во-вторых, для создания барьерного слоя, который не позволяет углероду «переползать» из припекаемого слоя в материал основы.

Покрытие наносится методом магнетронного распыления меди. Медное покрытие формируется с использованием вакуумной камеры установки УВМ-15У, представляющей собой горизонтальный цилиндр диаметром 1600 мм и длиной 2000 мм, ограниченный с одной стороны крышкой, а с другой стороны – сферическим днищем. Вакуумная камера оснащена двумя магнетронами и двумя ионными источниками, закрепленными на ее стенке вдоль образующей. Заготовки фрикционных дисков расположены на съемных кассетах, установленных на внутрикамерную оснастку. Внутрикамерная оснастка с установленными кассетами образует многогранник, который с помощью механизма, расположенного вне вакуумной камеры, вращается с регулируемой скоростью вокруг своей оси.

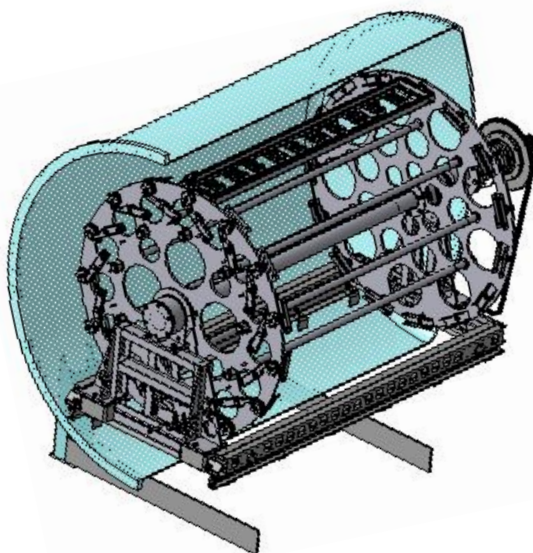


Рис. 10. Внутрикамерная оснастка для установления кассет

Конструкция внутрикамерной оснастки (рис. 10) предусматривает поворот каждой кассеты вокруг своей оси на 180 градусов после прохождения системы магнетронных и ионных источников, что обеспечивает обработку заготовок фрикционных дисков с обеих сторон.

Разработанная технология магнетронного нанесения медного покрытия в вакууме на заготовки фрикционных дисков является экологически чистой и энергоэффективной и предназначена для замены гальванического метода формирования медного покрытия, который в настоящее время используется практически всеми производителями фрикционных дисков.

Хорошо зарекомендовали себя и комбинированные технологии, которые успешно применяются для повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента.

На протяжении ряда лет в Институте проводятся исследования по разработке процессов создания износостойких покрытий с применением технологий электродугового испарения и ионного азотирования, причем комбинации этих процессов используются на различных стадиях формирования износостойких слоев.

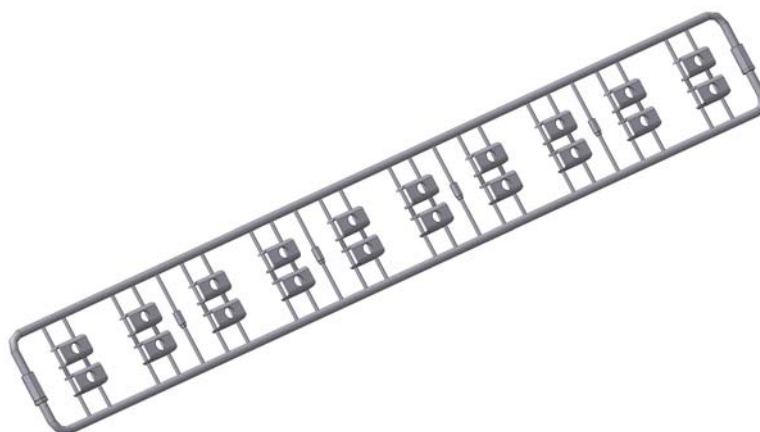


Рис. 11. Съемная кассета для размещения заготовок фрикционных дисков

Преимуществом такой комбинированной технологии формирования износостойких покрытий является достижение высоких эксплуатационных характеристик сформированных покрытий в комплексе с высокой адгезией.

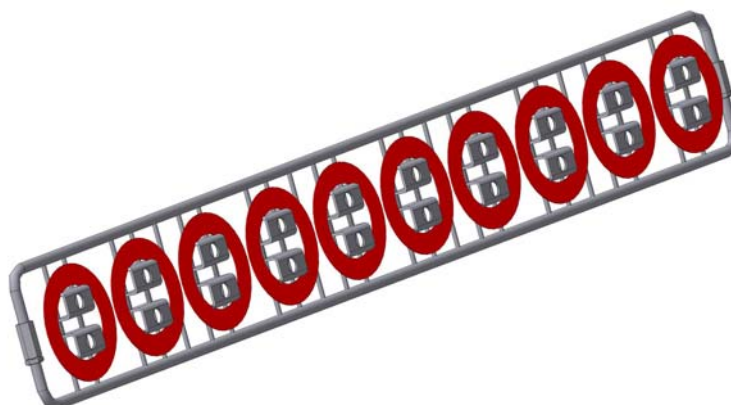
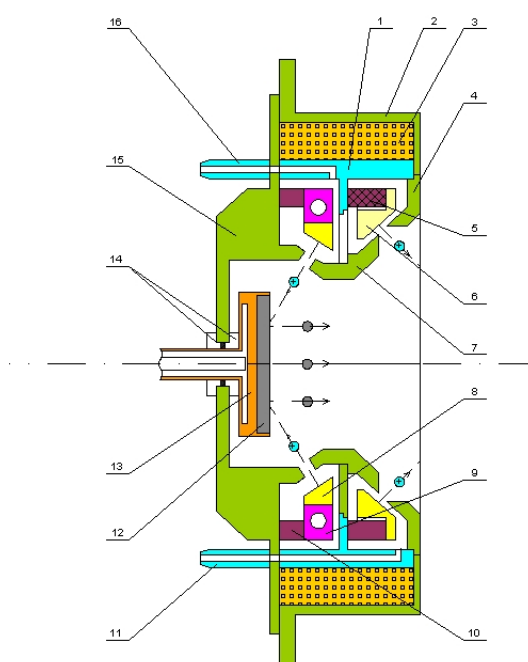


Рис. 12. Съемная кассета с заготовками фрикционных дисков

Применение комбинированных технологий для формирования износостойких покрытий, с одной стороны, приводят к увеличению толщины нитридного слоя в изделиях, что определяет повышение износостойкости по сравнению с традиционными технологиями поверхностного упрочнения, а, с другой стороны, структура комбинированного покрытия представляет собой достаточно плавный переход от прочного износостойкого нитридного покрытия на поверхности к более пластичным фазам в объеме изделия.

В плане создания новых методов формирования функциональных покрытий в настоящее время в Институте разрабатываются технические и технологические основы по реализации перспективных технологий формирования вакуумных покрытий методом ионно-лучевого распыления.

Для реализации процесса ионно-лучевого нанесения композиционных покрытий применяется ионный источник, разработанный на базе торцевого холловского ускорителя осесимметричной конструкции с разрядом в скрещенных $E \times H$ полях, который может формировать два независимых ионных пучка кольцевой геометрии (рисунок 13). Один из пучков используется для распыления мишени, другой - для предварительной обработки (ионной очистки и активации) поверхности подложки перед нанесением покрытия. В качестве рабочего газа использовали аргон.



1- внутренний каркас, 2 – корпус, 3- электромагнит, 4, 7, 15 – магнитопроводящие элементы, 5, 10 – изоляторы, 6, 8 – аноды, 9 – держатель, 11, 16 газовые штуцеры, 12- мишень, 13 – основание мишени, 14 -- втулки

Рис. 13. Двухлучевой ионный источник



Рис. 14. Размещение двухлучевого ионного источника на вакуумной камере установки вакуумного напыления ННВ – 6,6 - .И1

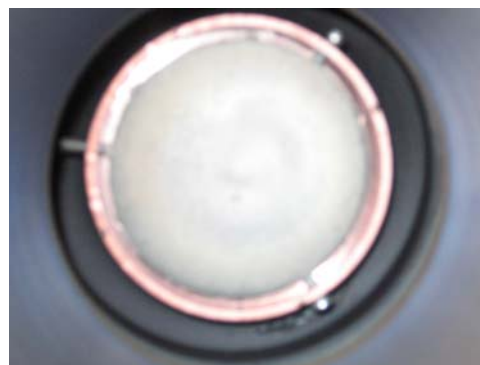


Рис. 15. Крепление композиционной мишени в ионном источнике

Композиционные мишени для распыления представляют собой диски $\varnothing 80$ мм и толщиной 6 - 10 мм (рис. 15), состоящие из спрессованных смесей порошков металла или сплава с добавками нанодисперсных алмазов, нанодисперсных оксидов, дисульфида молибдена.

Добавление в материал композиционной мишени нанодисперсных частиц приводит к уменьшению зерна в покрытии и позволяет наносить покрытия высокого качества при толщинах порядка десятков нанометров.

Технология ионно-лучевого распыления позволяет при распылении мишени, изготовленной из композиционных материалов получать на изделиях покрытия, полностью повторяющие материал мишени, как по химическому составу, так и по стехиометрии.

Перспективность этого метода состоит в разработке функциональных покрытий распылением композиционных мишеней, изготовленных из материалов с требуемыми эксплуатационными характеристиками (износостойкость, коррозионная стойкость, низкий коэффициент трения и т.д.).

Не менее важными работами с использованием метода ионно-лучевого распыления являются работы по созданию твердосмазочных покрытий, способных работать в различных условиях эксплуатации, особенно, когда применение жидких смазочных материалов недопустимо (вакуумное оборудование по нанесению покрытий, условия космического пространства).

ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Примером применения комбинированных технологий обработки изделий является технология, разработанная лабораторией плазменных покрытий Института совместно с сотрудниками Института физики им. Степанова НАН Б.

Разработана технология нанесения плазменных покрытий, предназначенных для восстановления и упрочнения деталей машин, эксплуатирующихся при неблагоприятных условиях трения (граничная смазка или отсутствие смазочного материала, повышенные контактные нагрузки и температуры трибосопряжений).

Суть технологии заключается в том, что покрытия, сформированные плазменными методами, обрабатывают высококонцентрированными потоками энергии (импульса плазмы, луча лазера) с дополнительным регулированием структурообразования при введении в состав покрытия (на стадии синтеза исходного композиционного материала) элементов переходных металлов, например, Mo, Ti и др.

При обработке покрытий высококонцентрированными потоками энергии имеет место локальный нагрев и сверхбыстрое охлаждение тонких оплавленных слоев покрытия, создаются предпосылки эффективного измельчения зеренной структуры, формируются неравновесные аморфные фазы.

В настоящее время в лаборатории плазменных покрытий разрабатываются технологии и осваивается оборудование для детонационного нанесения покрытий на изделия, работающие в условиях интенсивного коррозионно-эрозионного износа.

Развитию этого направления способствует эффективная работа в лаборатории новых материалов и технологий (ГНУ «Институт порошковой металлургии»), разрабатывающей методом СВС перспективные порошковые материалы для различных методов газотермического напыления.

В лаборатории плазменного напыления успешно работает оборудование для нанесения на изделия из металла антикоррозионных полимерных покрытий с различными наполнителями.

Среди заказчиков института Минский Метрополитен и ряд предприятий, заинтересованных в защите своих изделий от коррозии в сочетании с декоративными характеристиками изделий, поскольку полимерные покрытия имеют очень широкую цветовую гамму.

Несмотря на многообразие технологических приемов, используемых при формировании функциональных покрытий, не существует универсальных методов, способных решать все задачи, стоящие перед разработчиками, как в машиностроении, так и в инструментальной промышленности и решение каждой задачи требует своего индивидуального подхода, своего метода, своего материала.

Решению этих проблем и посвящена сегодня научная и производственная деятельность коллектива лабораторий Института в рамках многочисленных заданий государственных программ, как фундаментальных, так и прикладных научных исследований.