

В работе исследовались покрытия, напыленные газотермическим способом из следующих композиций (в объемных долях): композиция №1 – ПТ-ЮНХ16СР3 (1/3) + ПГ-19М-01 (2/3), композиция №2 – ПР-НД42СР (1/3) + ПР – Х4Г2Р4С2Ф (1/3) + ПТ-НА-01 (1/3), композиция №3 – ПТ-НА-01 (1/3) + ПГ-19М-01 (2/5) + ПР – Х4Г2Р4С2Ф (1/3), образец – сталь 45 и ПГ-СР4.

Результаты проведенных испытаний показаны на рисунках 3-6.

В условиях фреттинг-коррозии и под действием высоких удельных нагрузок в процессе эксплуатации слабо упрочняющаяся пластичная матрица легко переносится на сопряженную поверхность, предохраняет ее от повреждений и способствует релаксации напряжений. Наличие дисперсных твердых включений, воспринимающих основную силовую нагрузку, обуславливает повышение сопротивления контактирующих материалов усталостному разрушению. Высокая износостойкость полученных композиционных покрытий достигается составом композиций для напыления, содержащих пластичную металлическую матрицу (Cu, Ni, Fe) с мелкодисперсными карбидами и другими твердыми включениями, равномерно распределенными по всему объему. Такие составы композиций обеспечивают оптимальное соотношение твердости и вязкости покрытий.

Подтверждена эффективность использования газотермического напыления для упрочнения-восстановления поверхностей, подверженных фреттинг-коррозии. Полученные композиционные покрытия имеют износостойкость в 1,5-2 раза выше по сравнению со сталью 45 и сравнимую с износостойкостью оплавленного самофлюсующегося сплава ПГ-СР4.

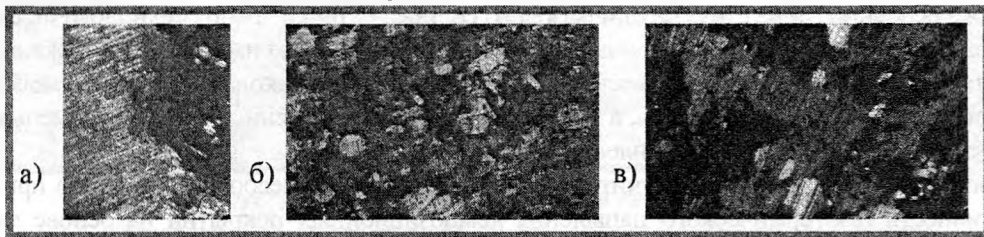


Рисунок 7 – Фотографии поверхности покрытий после испытаний на фреттинг-коррозию: а) – граница изношенной и не изношенной поверхности, б) – изношенная поверхность х64, в) - изношенная поверхность х128

ЛИТЕРАТУРА

1. Hutchings I.M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. – Cambridge, 1992. – p.273.
2. Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – Киев: «Техніка», 1974 – 272с.

УДК 621.793

Соков И.О., Спиридонов Н.В., Пилецкая Л.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Задача обеспечения требуемых свойств покрытий определяется решением в комплексе двух ключевых проблем: выбор материала и формирование его требуемых структуры и свойств за счет подбора технологических параметров. Кроме того, анализ себестоимости нанесения покрытий показывает, что при газотермических технологиях затраты на материал как правило являются основной статьей расходов [1]. Таким образом, наиболее эффективным методом удешевления защитных покрытий является разработка и применение новых материалов, обладающих низкой стоимостью при высоком уровне обеспечиваемых свойств. Выбор оптимального состава материала для конкретных условий работы детали является приоритетным по отношению к способу и режимам его нанесения.

Исходя из поставленной цели исследований, в работе разрабатывались композиции на основе износостойких, антифрикционных и терморегулирующих материалов. Выбор исходных порошковых ма-

териалов для создания композиций с целью последующего получения газотермических покрытий производился исходя из соответствия их следующим условиям:

- высокого уровня физико-механических свойств покрытий, обеспечивающих защиту от различных видов износа (абразивного, фреттинг-коррозии) и прочность сцепления, гарантирующую работоспособность деталей с покрытиями;
- минимальной себестоимости композиций.

Первому условию соответствуют материалы на основе никеля, железа, медесодержащие (бронзы, баббиты). Повышенный уровень свойств в покрытии прогнозируется в случаях наличия в исходном материале значительного количества легирующих элементов, способствующих повышению износостойкости, фреттингостойкости, антифрикционных свойств и прочности сцепления. Это характерно для самофлюсующихся материалов на основе никеля и железа, бронзам. Терморегулирующие материалы за счет экзотермической реакции повышают температуру в зоне контакта напыляемого материала и основы, что способствует их проплавлению, повышая тем самым прочность сцепления.

Второму условию удовлетворяют самофлюсующиеся сплавы на основе железа и бронзы. Кроме того, согласно [2] сопротивлением изнашиванию при фреттинг-коррозии обладают материалы на основе никеля, железа, алюминия, меди и содержащие карбиды хрома, титана, ванадия. Известна [3] композиция ПС – 85Н70Х17С4Р4+15Ю10Н стойкая к износу и фреттинг-коррозии.

На технологичность порошковых материалов и на свойства покрытий влияет форма исходных частиц, а также особенности ее структуры и фазового состава. С точки зрения технологичности важным положительным фактором является сферичность частиц порошка. Максимально приближенная к сфере форма частиц обеспечивает их хорошую текучесть, равномерность расхода и прогрева и, как следствие, высокую производительность напыления, а также способствует получению покрытий с меньшей пористостью и более высокой прочностью сцепления.

В проводимых исследованиях, учитывая выше сказанное, целесообразным было признано изучить эффективность газотермического напыления композиционных покрытий на основе материалов, относящихся по своему химическому составу и свойствам к различным классам материалов: самофлюсующиеся материалы на основе никеля и железа, терморегулирующие – NiAl и медьсодержащие – бронза. Для составления композиций и проведения исследований были выбраны следующие компоненты: ПР–НД42СР (ТУ 14-127-309-01); ПГ–19М-01 (ТУ 48-4206-156-82); ПТ–НА-01 (ТУУ-322-19-004-96); ПР–Х4Г2Р4С2Ф (ТУ 14-22-18-88) (таблица 1).

Таблица 1 - Состав композиций для напыления

№ Композиции	Состав композиции (в объемах)
Эталон	Сталь 45
1	ПТ-НА-01 (1/3) + ПГ-19М-01(2/5) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/3)
2	ПР-НД42СР(1/3)+ПР-Х4Г2Р4С2Ф(1/3) + ПТ-НА-01 (1/3)

Для изучения структуры, микротвердости, пористости газотермических покрытий изготавливались шлифы поперечного среза. Место вырезки шлифа выбирали так, чтобы образец был достаточно типичен для композиции основной металл – покрытие.

Далее образцы подвергались шлифованию бумажными или тканевыми наждачными шкурками ступенчато, переходя от крупной зернистости к более мелкой. После каждой ступени шлифования проверяли качество поверхности. Не должно быть следов шлифования более грубой шкуркой (т. е. перпендикулярных рисок). Время шлифования одной шкуркой составляло 5-10 мин.

Риски, оставшиеся от шлифования на последней шкурке, устранялись полированием. Для полирования использовали вращающийся металлический диск с натянутой или приклеенной тканью. Паста с дисперсным абразивом подавалась в зону контакта поверхности образца и ткани. Хорошее качество шлифа достигалось при использовании мелкозернистой пасты ГОИ, в состав которой входят оксид хрома, стеарин, керосин, олеиновая кислота и сода.

Окончательная чистка шлифов после полирования включает операции промывки в проточной воде, сушки, обезжиривания этиловым спиртом или эфиром и заключительной сушки в струе теплого воздуха или с помощью фильтровальной бумаги.

Перед исследованиями шлифы были подвергнуты травлению с помощью специального раствора: 4г – пикриновая кислота; 0,5мл – HNO₃; 95,5мл – спирт технический. Это позволило выявить структуру металлической матрицы покрытий.

С помощью оптического микроскопа «MeF3» Rotoscope были сделаны снимки образцов до и после травления. Исследовались покрытия, напыленные до оптимизации и после оптимизации состава композиций, технологических параметров напыления.

Исследование элементного состава проводилось на сканирующем электронном микроскопе «CamScan 4» с энергодисперсионным микрорентгеноспектральным анализатором «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия).

Область возбуждения элементов от В до U. Минимальный предел обнаружения элемента – 0,5%. Точный количественный анализ при содержании элемента от 1%. Погрешность метода 3-5 относительных процентов.

Минимальное разрешение сканирующего электронного микроскопа «CamScan 4» - 50нм. Глубина проникновения электронного пучка в образец 1 мкм.

Для исследования были выбраны образцы диаметром 10 мм и высотой 5-10 мм. При изготовлении шлифов необходимо было исключить из применения полирующие материалы, в состав которых входят химические элементы, присутствие которых надо установить в исследуемых образцах. Шлифы тщательно промывались в спирте в ультразвуковой ванночке. Для стекания заряда, возникшего на поверхности при сканировании электронным пучком, на вакуумном посту S 150A SPUTTER COATER на образец методом катодного распыления наносилась проводящая плёнка золота.

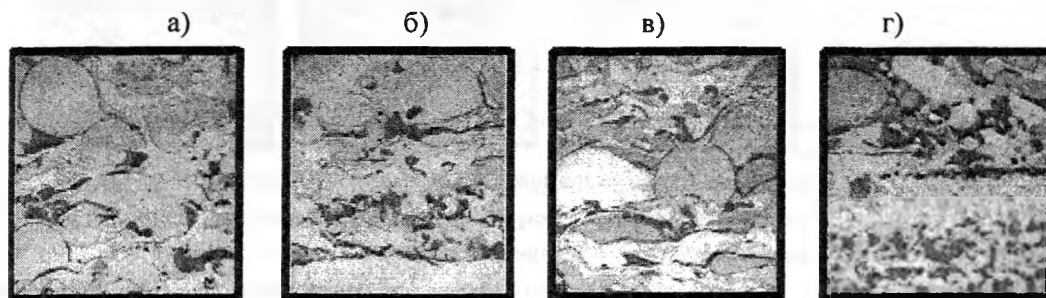


Рисунок 1– Структура покрытия из композиции №1 до оптимизации
а) – нетравленое покрытие x200; б) – нетравленое покрытие с основой x200;
в) – травленое покрытие x200; г) – травленое покрытие с основой x200

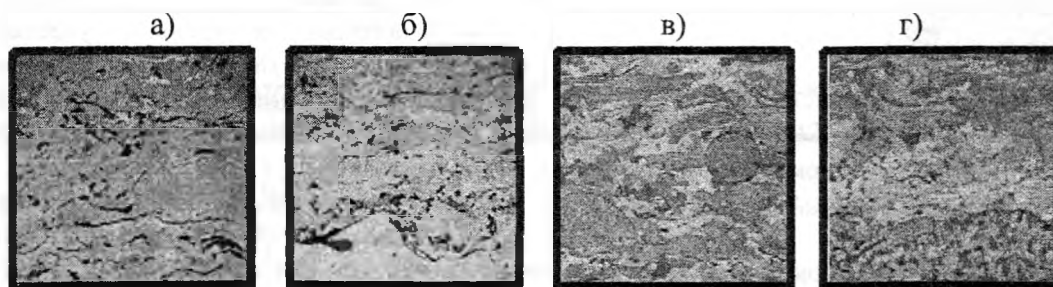


Рисунок 2– Структура покрытия из композиции №1, напыленного на оптимальных режимах
а) – нетравленое покрытие x200; б) – нетравленое покрытие с основой x200;
в) – травленое покрытие x200; г) – травленое покрытие с основой x200

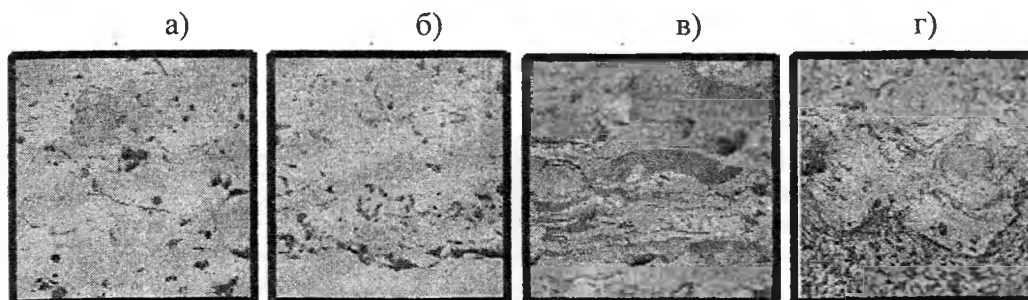


Рисунок 3 – Структура покрытия из композиции №2, до оптимизации
а) – нетравленое покрытие x200; б) – нетравленое покрытие с основой x200;
в) – травленое покрытие x200; г) – травленое покрытие с основой x200

Перед проведением исследования по программе количественного анализа необходимо было составить эталонный файл. Для этого задавался ряд стандартных условий, которые затем легко воспроизводятся и соблюдаются при проведении количественного анализа.

В качестве калибровочного элемента был выбран никель (Ni).

При проведении анализа автоматически вводятся поправки на поглощение, атомный номер и флуоресценцию.

Количественный анализ проводился по программе анализа данных 1, как указано в инструкции по эксплуатации программы ZAF-4/FLS. На экране дисплея анализатора записывался рентгеновский спектр образца. Затем спектр отправлялся в процессор, где проходила его полная обработка с введением всех поправок. После этого процессор выдавал весовое и атомное процентное содержание всех названных элементов с распечаткой их на бумаге.

Фотографии шлифов поверхности и поперечного среза покрытий из композиций представлены на рис. 1-4.

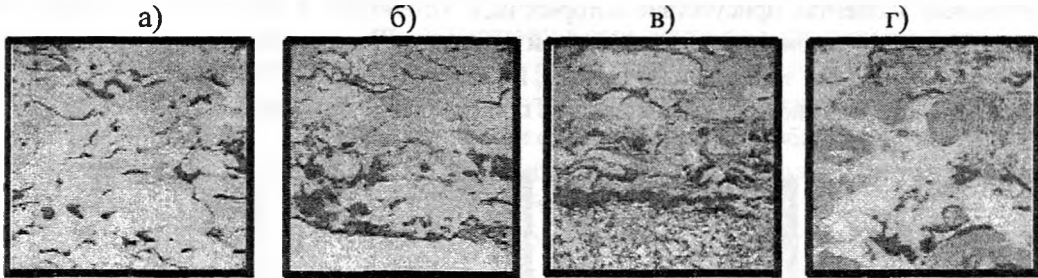


Рисунок 4— Структура покрытия из композиции №2, напыленного на оптимальных режимах
а) – нетравленное покрытие x200; б) – нетравленное покрытие с основой x200;
в) – травленное покрытие x200; г) – травленное покрытие с основой x200

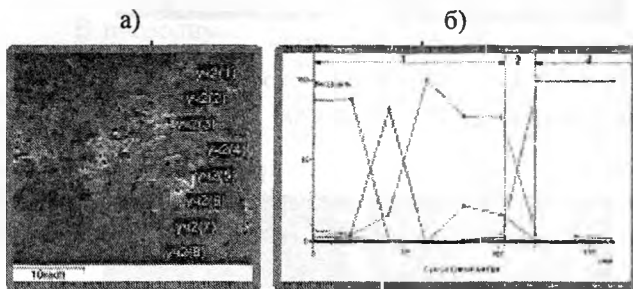


Рисунок 5 – Микроструктура покрытий (а) из композиции №1. Распределение легирующих элементов (б)

бильном ее состоянии и высокой степени насыщенности покрытия легирующими элементами. Характер структуры для композиций, имеющих в своем составе порошок на основе железа соответствует выводам рентгеновского анализа о наличии в покрытии α - и γ -твердых растворов и свидетельствует о хаотичном их распределении.

Напротив, в пластифицированных частицах, вероятно за счет резкого уменьшения сечения при затвердевании и достаточно высокой температуры в начале контакта, а также ввиду того, что диффузия атомов бора происходит и после полного отвердевания до достижения некоторой критической температуры, идет процесс гомогенизации по химическому составу.

Структура покрытий после напыления характеризуется значительной неоднородностью как внутри отдельных частиц, так и по покрытию в целом. Такая картина наблюдается при различных режимах напыления и вне зависимости от состава композиции (рис. 1-4, а, в). Неравномерность структуры покрытий обусловлена двумя факторами. Во-первых, неоднородностью исходных частиц, гомогенизация которых в процессе напыления находится в начальной стадии; во-вторых, разными условиями их застывания. Интенсивность теплоотвода зависит от пористости: частицы, окруженные порами, остывают медленнее, а пористость покры-

В основном эти покрытия состоят из сильно деформированных неравномерно травящихся частиц. В сердцевине отдельных частиц различима дендритная структура с дендритами преимущественно первого порядка. На отдельных участках покрытия имеют место хаотически расположенные скопления с большим или меньшим количеством мелкодисперсной упрочняющей фазы. Неравномерность травления свидетельствует о разнолегированности металлической матрицы, метаста-

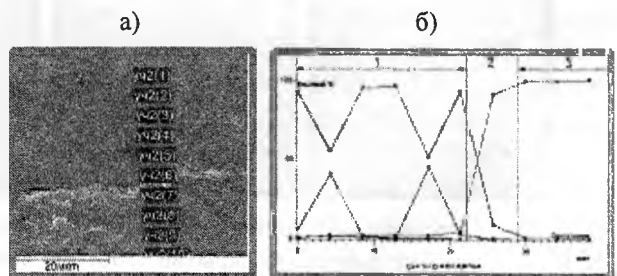


Рисунок 6 – Микроструктура покрытия (а) из композиции №2. Распределение легирующих элементов (б)

1 – покрытие, 2 – переходная зона (диффузионная зона),
3 – деталь (основа)

тия неравномерна. Медь, по-видимому, преимущественно растворяется в металлической фазе покрытия, однако отдельные ее включения заполняют поры между частицами. Покрытия, напыленные на оптимальных режимах из композиций с оптимизированными составами, характеризуются несколько более равномерной структурой, меньшей пористостью и меньшим количеством частиц, большим количеством пластифицированных частиц, что свидетельствует о лучшем их проплавлении. По-видимому, наличие на поверхности частиц легкоплавкой меди и ее более поздняя кристаллизация, а также терморреагирующих компонентов в некоторых композициях сопровождается выделением тепла, способствуют некоторому увеличению времени интенсивного протекания диффузионных процессов. Последний подтверждается рентгеноструктурным анализом (рис.5,6) данных покрытий.

Разработанные композиционные материалы по своим износостойким и прочностным свойствам удовлетворяют условиям работы крупногабаритных высоконагруженных валов бумагоделательных машин и были рекомендованы для практического использования на Слонимском картонно-бумажном заводе «Альбертин» при упрочнении-восстановлении таких валов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батищев А.Н. Обоснование рационального способа восстановления деталей // Механизация и электрофикация сельского хозяйства. – 1992, №9-12. – с. 30-31. 2. ГОСТ 28377-89 «Порошки для газотермического напыления и наплавки. Типы». – Введ 01.01.91. 3. Лабораторные работы по дисциплине «Основы повышения эксплуатационных свойств поверхностей» для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технология высокоэффективных процессов обработки материалов». В 2-х частях. Ч.1 / Н.В.Спиридонов, С.Э.Крайко, А.С.Володько. – Мн.: БНТУ, 2003. – 90 с.

УДК 621.373.826

Спиридонов Н.В., Соколов И.О., Беганский Д.А., Лукашевич О.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СЕРОГО ЧУГУНА, УПРОЧНЕННОГО ЛАЗЕРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Обеспечение научно-технического прогресса в машиностроении связано, прежде всего, с созданием новых конструкционных материалов и совершенствованием технологий их упрочнения. Благодаря успехам современного материаловедения создан широкий спектр материалов различного назначения с высокими эксплуатационными свойствами. Наиболее распространенными среди металлических конструкционных материалов являются сплавы на основе железа. Поэтому проблема совершенствования технологических методов их упрочнения остается весьма актуальной.

В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и агрегатов работает в тяжелых эксплуатационных условиях – при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках – серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих поверхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свойствами, которые для Республики Беларусь являются статьей импорта, малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно с помощью нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности деталей.

Развитие инженерии поверхности предполагает разработку технологических процессов нового уровня, позволяющих модифицировать поверхностный слой, радикально менять его структуру и свойства. Для модифицирования поверхности металлов предпочтение отдается методам упрочняющей обработки, использующих в качестве теплового источника концентрированные потоки энергии: лазерные, ультразвуковые, высокочастотные индукционные и другие.

Обработка материала сфокусированным излучением лазера является научным и техническим направлением технологии машиностроения и других областей промышленности, появившимся, когда были созданы мощные импульсные генераторы монохроматического излучения[1].