

4. Оборудование // Инновационное республиканское унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник» [Электронный ресурс]. – 2005-2010. – Режим доступа: <http://www.epo.metolit.by/ru/dir/index.php/2704>. – Дата доступа: 16.09.2016.

5. Технологическое оборудование и оснастка // ОДО «ПРОСЕТ» [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://plazm-met.narod.ru/>. – Дата доступа: 16.04.2012.

6. Полотенцесушители // ОАО «БЭРН» [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.bern.by/>. – Дата доступа: 16.04.2010.

7. Установка электролитно-плазменного полирования УПП // Компания «Технологии и предложения» [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.vacuum-plants.ru/upp.html>. – Дата доступа: 28.04.2012.

УДК 621.793

Соков И.О., Володько А.С., Пилецкая Л.И., Нерода М.В., Кришталь С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Белорусский национальный технический университет

Барановичский государственный университет

Минск, Беларусь

В статье представлены результаты определения влияния состава композиционных материалов и технологии формирования газотермических покрытий на их физико-механические свойства.

На ряде предприятий Республики Беларусь по производству клинового проката при эксплуатации технологического оборудования происходит его периодическое и незапланированное простаивание из-за малого срока службы отдельных деталей. Причиной выхода из строя таких деталей как прокатывающие клинья является износ рабочей поверхности в результате контактного взаимодействия рабочей поверхности с заготовкой. Предприятия несут большие расходы на приобретение быстроизнашивающихся запасных деталей из дорогостоящих легированных сталей, ремонт, установку и наладку оборудования. Эти расходы могут быть существенно снижены за счет нанесения на изнашивающиеся поверхности деталей станов клиновой прокатки многофункциональных композиционных газотермических покрытий с последующей их модификацией лазерным излучением.

Для повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей передовые промышленные страны, такие как: США, Германия, Италия, Япония широко применяют износостойкие покрытия, несмотря на высокую стоимость упрочняющих технологий и оборудования.

Анализ состояния надежности и долговечности оборудования и применяемых упрочняющих технологий показывает, что газотермическим напылением можно упрочнять большое количество типоразмеров различных деталей производственного оборудования на этих предприятиях. Это позволит на 30...40% сократить потребности в запасных частях.

Перспективными технологиями по повышению ресурса рабочих поверхностей деталей станов клиновой прокатки в настоящий момент могут быть технологии с применением газотермического напыления и лазерного модифицирования композиционных материалов, что позволяет создавать поверхностные слои с высокими эксплуатационными свойствами, позволяющими многократно повысить ресурс быстроизнашивающихся деталей.

Исходя из поставленной цели исследований, в работе разрабатывались композиции на основе износостойких, антифрикционных и терморреагирующих материалов. Выбор исходных порошковых материалов 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 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 при наличии в исходном материале значительного количества легирующих элементов, способствующих повышению износостойкости, антифрикционных свойств и прочности сцепления. Это характерно для самофлюсующихся материалов на основе никеля и железа, бронзам. Термореагирующие материалы за счет экзотермической реакции повышают температуру в зоне контакта напыляемого материала и основы, что способствует их проплавлению и повышению температуры в контакте «покрытие – основа», увеличивая тем самым прочность сцепления.

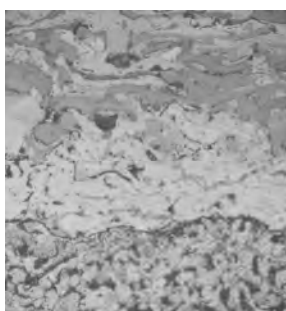
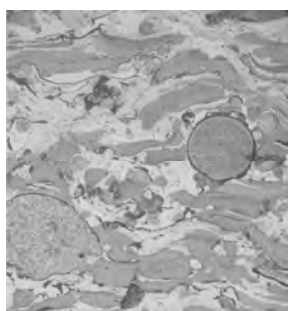
Второму условию удовлетворяют самофлюсующиеся сплавы на основе железа и материалы на основе меди. Кроме того, согласно [1] сопротивлением изнашиванию обладают материалы на основе никеля, железа, алюминия, меди и содержащие карбиды хрома, титана, ванадия.

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.

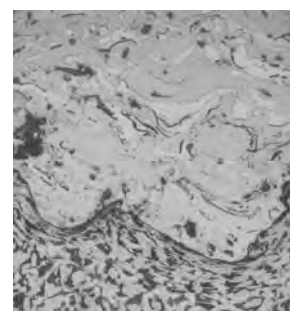
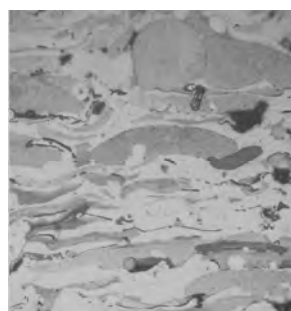
В проводимых исследованиях, учитывая выше сказанное, целесообразным было признано изучить эффективность газотермического напыления композиционных покрытий на основе следующих материалов: самофлюсующихся материалов на основе железа, термореагирующих – NiAl и медьсодержащих. Для составления композиций 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).

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. 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 покрытия неравномерна.

Медь, по-видимому, преимущественно растворяется в металлической фазе покрытия, однако отдельные ее включения заполняют поры между частицами. Покрытия из порошка, имеющего в своем составе медь, характеризуются несколько более равномерной структурой, меньшей пористостью и меньшим количеством частиц, сохранивших двухфазность строения.



а)
Рис. 1. Структура покрытия
из композиции № 1:
а – покрытие x200;
б – покрытие с основой x200;



а)
Рис. 2. Структура покрытия
из композиции № 2
а – покрытие x200;
б – покрытие с основой x200;

По-видимому, наличие на поверхности частиц легкоплавкой меди и ее более поздняя кристаллизация, а также наличие термореагирующих компонентов в композициях при напылении выделяющих дополнительное тепло, способствуют некоторому увеличению времени интенсивного протекания химического взаимодействия и диффузионных процессов.

Структуры покрытий после оплавления, представлены на рис. 3.

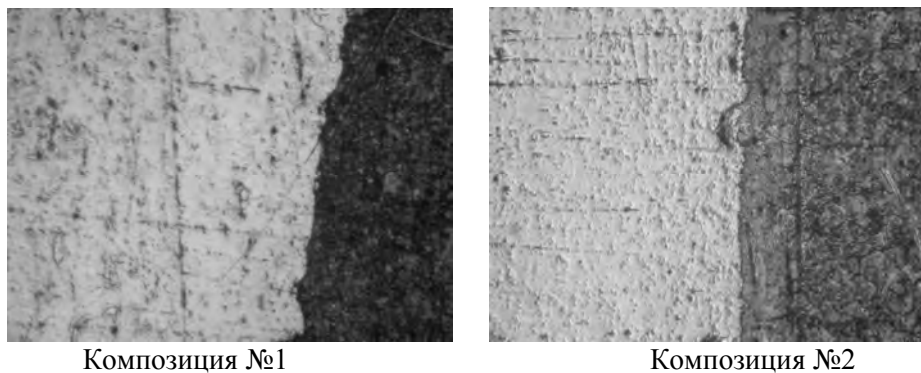


Рис. 3. Микроструктура покрытий после оплавления

Распределение частиц различных химических элементов по покрытию гетерогенное. Это может свидетельствовать о неоднородности исходных композиций, неравномерном налипании частиц по поверхности частиц в исходном порошке. Также это может быть обусловлено разными условиями застывания частиц.

Также исследования показали, что введение самофлюсующихся порошков, позволило уменьшить пористость покрытий. Частицы самофлюсующихся порошков в покрытиях выполняют роль уплотнителя при формировании покрытия и заполняют поры, которые возникают при использовании «чистого» порошка на основе железа.

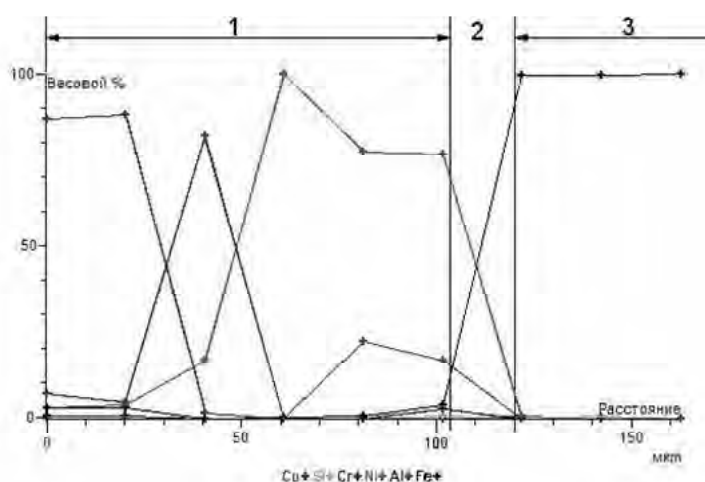
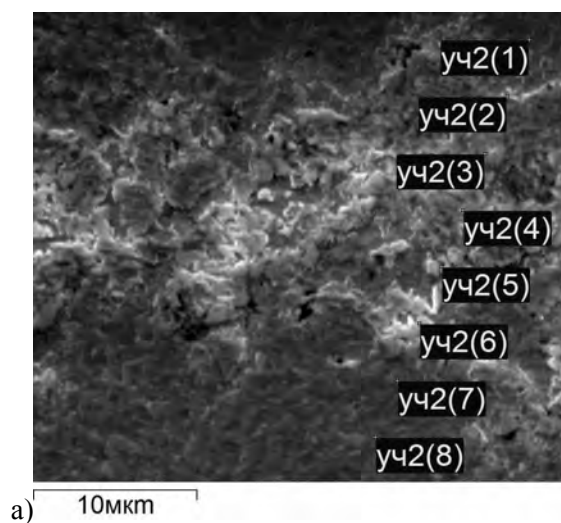
Протекание химического взаимодействия и образование диффузионной зоны между покрытием и основой подтвердил проведенный количественный анализ. Результаты МРСА представлены на рисунках 4, 5.

Из графика распределения химических элементов (рисунок 4, б, 5, б) видно, что никель диффундирует в основу (сиреневая линия), железо в покрытие (черная линия).

Применяли два типа исследований: спектр с поверхности шлифа и структура поверхности в сочетании с Y-модуляцией, т.е. медленное сканирование электронного пучка вдоль линии с регистрацией рентгеновского излучения по каждому элементу с и построением концентрационных кривых распределения. Кроме того, проводился точечный микрорентгеноспектральный анализ по программе количественного анализа. Результаты исследований представлены в таблицах. Для исследования распределения элементов по поверхности применяли также съемку в характеристическом рентгеновском излучении по программе «Smart map», имеющей два режима. В первом случае на экране цветного дисплея получали картину распределения одного из элементов. Цвет на фотографии определяет концентрацию: черный – полное отсутствие элемента, белый – 100 %-ное присутствие, переходные цвета говорят о промежуточной концентрации. Во втором случае получаем распределение трех и более элементов одновременно, при этом каждому из элементов присваивается условный цвет. Все остальные цвета образуются при наложении трех основных и говорят о совместном присутствии элементов на том или ином участке образца, а концентрация в этом случае определяется плотностью цвета. Применение этой программы исследований дает очень хорошие результаты для понимания механизмов диффузионных процессов.

При плазменном напылении подслоя из термореагирующего порошка происходит практически мгновенное разупрочнение поверхности основы и как следствие ее высокоскоростная пластическая деформация, обусловленные давлением ускоренных и разогретых до температуры плавления в плазменной струе частиц порошка при соударении с основой, что способствует возникновению диффузионной зоны между покрытием и металлом основы. Время, в течение которого поддерживается температура в контакте, совпадает со временем химического взаимодействия и кристаллизации частицы. Дополнительное тепло, выделяемое при экзотермической реакции, способствует дополнительному разогреву напыляемых частиц и основы, что увеличивает время кристаллизации частицы, а, следовательно, и время химического взаимодействия между напыляемым материалом и основой, протекание данной стадии взаимодействия гарантирует и диффузионное взаимодействие напыляемого материала и основы, следовательно, повышается прочность сцепления. Образование диффузионной зоны между покрытием и основой

подтверждает рентгеноспектральный анализ (рис. 4, 5). Глубина проникновения элементов покрытия составляет до 10 – 12 мкм. С ростом величин давления и температуры частиц, за счет напыления на оптимальных режимах, диффузионная зона может достигать значения ~ 25 мкм.



б)

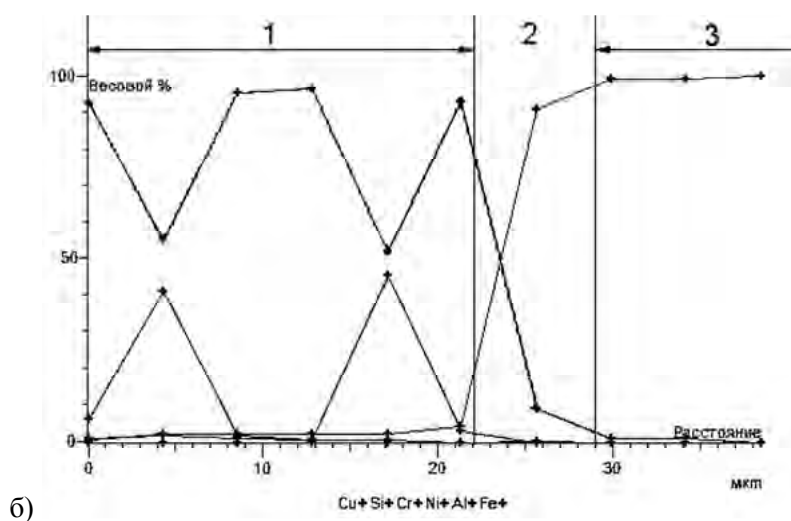
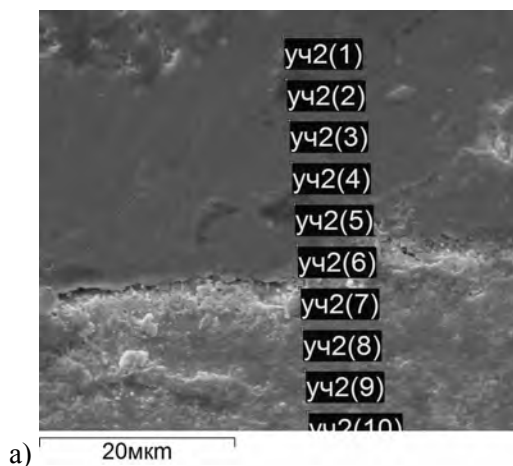
Спектр	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu
уч2(1)	7.10	0.00	0.63	2.84	2.89	86.54
уч2(2)	4.68	0.00	0.51	3.12	3.77	87.92
уч2(3)	82.05	0.00	0.00	0.00	16.54	1.40
уч2(4)	0.00	0.00	0.00	0.36	99.64	0.00
уч2(5)	22.28	0.00	0.00	0.50	77.22	0.00
уч2(6)	16.58	0.66	2.43	3.86	76.48	0.00
уч2(7)	0.00	0.00	0.00	99.28	0.00	0.72
уч2(8)	0.00	0.43	0.00	99.57	0.00	0.00
уч2(9)	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00

в)

Рис. 4. Микроструктура покрытий (а) из композиции № 1.

Распределение легирующих элементов (б, в):

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



б)

Спектр	Al	Si	Cr	Fe	Ni	Cu
уч2(1)	6.15	0.00	1.16	0.57	92.12	0.00
уч2(2)	40.99	0.00	1.69	2.26	55.05	0.00
уч2(3)	1.74	0.00	0.86	2.34	95.07	0.00
уч2(4)	0.58	0.00	0.78	2.24	96.40	0.00
уч2(5)	45.40	0.00	0.47	2.39	51.75	0.00
уч2(6)	3.03	0.00	0.00	4.15	92.82	0.00
уч2(7)	0.00	0.35	0.00	90.55	9.10	0.00
уч2(8)	0.00	0.00	0.00	99.02	0.98	0.00
уч2(9)	0.00	0.00	0.00	99.06	0.94	0.00
уч2(10)	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00

в)

Рис. 5. Микроструктура покрытия (а) из композиции № 2.

Распределение легирующих элементов (б, в):

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

Основным физико-механическим свойством упрочненного слоя, определяющим его эксплуатационные характеристики, и в первую очередь износостойкость, является микротвердость. Результаты измерений представлены на рис. 6, 7.

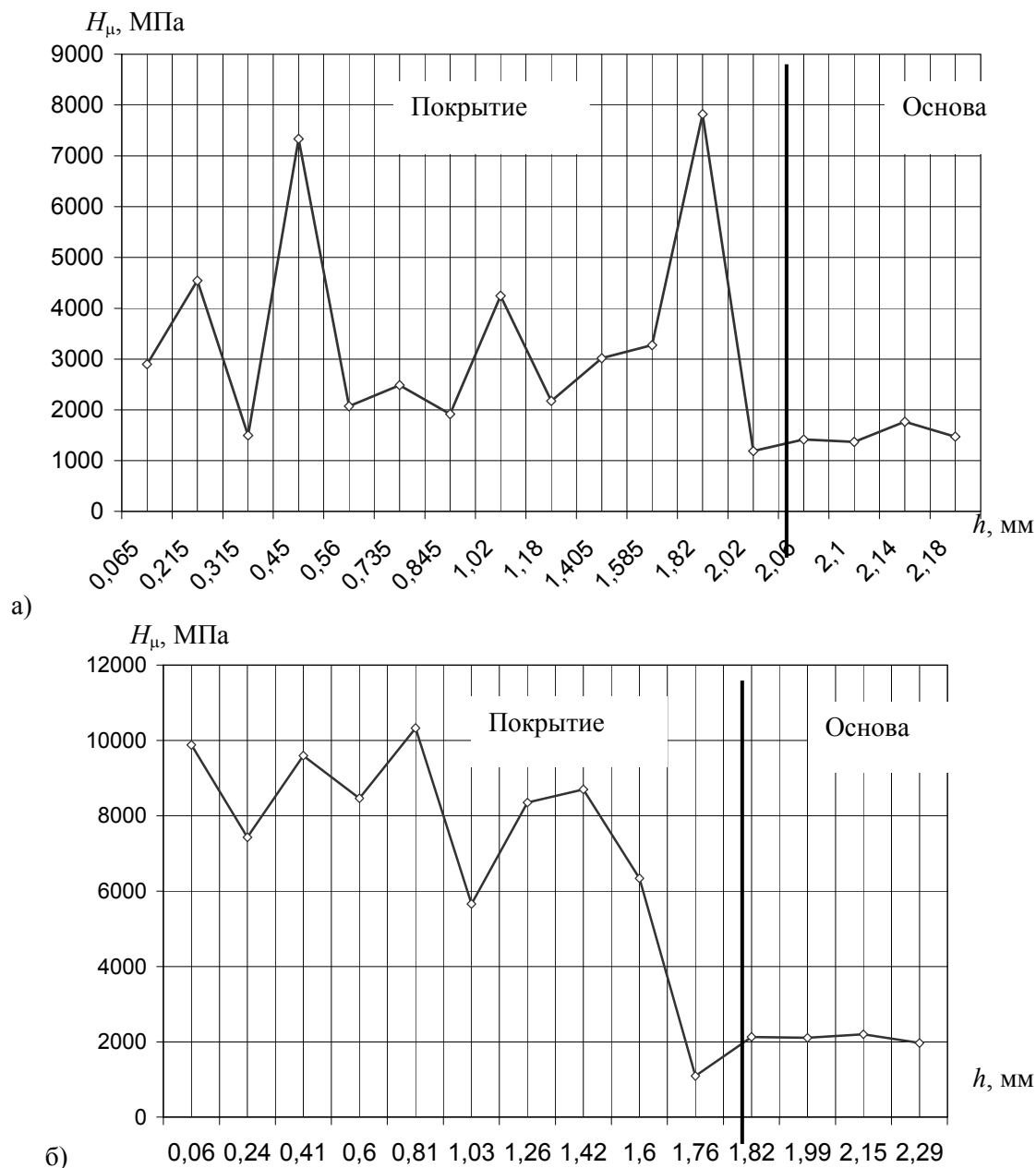
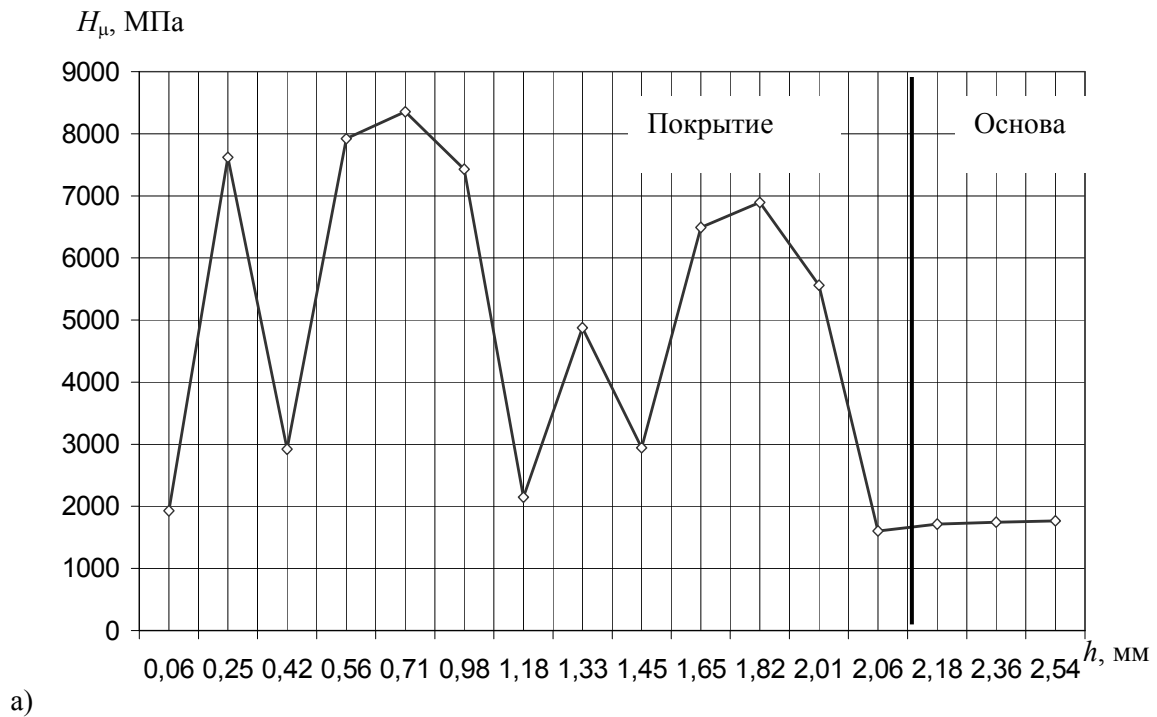


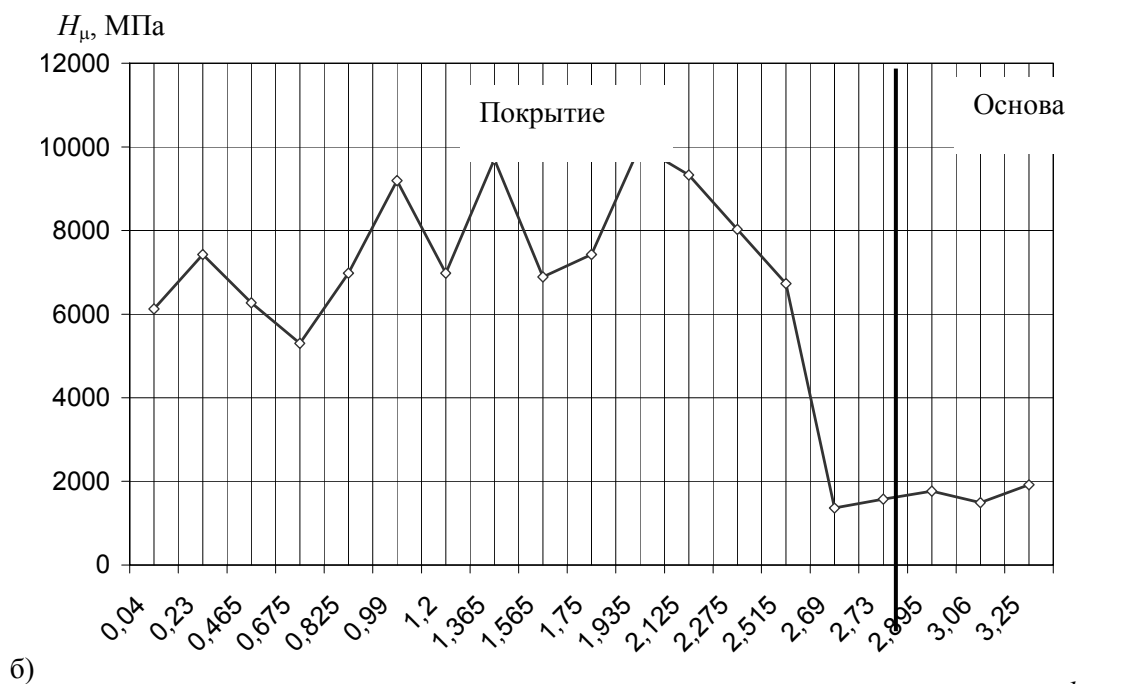
Рис. 6 Микротвердость покрытий из композиции № 1:
а – до оплавления; б – после оплавления

Исследование микротвердости показало, что отдельные фазы газотермических композиционных покрытий достигают значений 10805 МПа и 10025 МПа для композиций № 1 и № 2 соответственно, при этом средняя микротвердость этих покрытий составляет 7584 МПа и 7513 МПа. Меньшее значение микротвердости композиции № 2 обусловлено большим содержанием меди. В состав покрытий входят компоненты на основе меди (ПГ-19М-01, композиция № 2), меди и никеля (ПР-НД42СР, композиция № 1), а также на основе железа, легированного хромом, ванадием, бором, кремнием (ПР-Х4Г2Р4С2Ф), поэтому полученные покрытия имеют пластичную основу (медь – никель – железо) и твердые включения в виде частиц карбидов и боридов. Это объясняет разброс микротвердости по толщине покрытия (5660 – 10327 МПа – композиция № 1 и 6720 – 10025 МПа – композиция № 2). Такая структура является оптимальной с точки зрения износостойкости и соответствует структуре правила Шарпи: включения твердых компонентов, распределенных в более мягкой матрице. Высокие значения микротвердости вблизи основы, а также исследование структуры покрытий и их элементного состава (рисунок 4, 5) позволяют сделать вывод о возникновении химического

взаимодействия компонентов напыляемого материала и основы с образованием переходной зоны, что обуславливает достижение высокой прочности сцепления покрытия с основой.



а)



б)

Рис. 7. Микротвердость покрытий из композиции № 2:
а) – до оплавления; б) – после оплавления

h, мм

Исследование пористости покрытий (рисунок 8) показало, что поры имеют неправильную форму. Площадь пор в сечении, нормальном границе раздела между покрытием и основой, меньше, чем в сечении параллельном границе. Данный фактор обусловлен особенностями послойного формирования покрытий. Пористость снижает прочность покрытия и может являться очагами зарождения усталостных трещин, поэтому необходимо стремиться к ее снижению для деталей, работающих при циклических нагрузках.

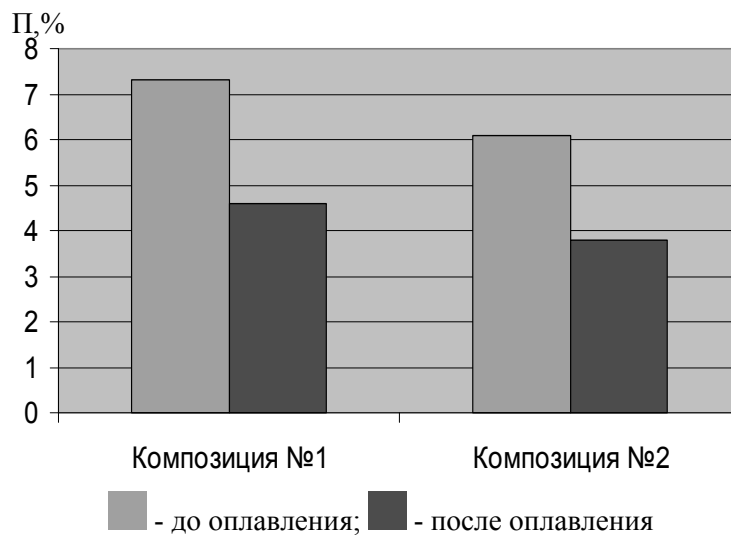


Рис. 8. Диаграмма пористости покрытий

Открытая пористость полученных покрытий, не снижая прочности покрытия ввиду ее небольшой величины (менее 5%), способствует сохранению смазки в условиях граничного трения. Кроме того, из диаграммы видно, что на величину пористости оказывает немаловажное влияние и режимы напыления, так покрытия напыленные на оптимизированных режимах имеют пористость в 1,5 раза ниже, чем покрытия напыленные на рекомендованных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1.ГОСТ 28377-89 «Порошки для газотермического напыления и наплавки. Типы». – Введ 01.01.91.

УДК 621.793

Спиридонов Н.В., Соколов И.О., Володько А.С., Пилецкая Л.И.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

На основе исследования износостойкости предложены материалы для композиционных газотермических покрытий и последующего легирования, а также технологии формирования упрочненных слоев.

К основным особенностям использования высокоэнергетических источников, привлекающих внимание технологов, относятся – высокая концентрация и локальность энергии, вводимой в зону обработки. Это дает возможность проведения необходимой термообработки только определенной поверхностной зоны без объемного разогрева всей детали и точно дозировать энергозатраты. Кроме того, к достоинствам таких видов обработки относятся простота транспортировки излучения к рабочей зоне (особенно у волоконных лазеров с гибким подводом энергии) и хорошая возможность автоматизации процесса.

Концентрированные потоки энергии применяются для упрочнения и восстановления деталей машин как в отдельных технологиях (в частности, лазерная закалка, легирование, наплавка), так и в комплексных технологиях (напыление с последующей лазерной обработкой).