



*The work is dedicated to problems of creation of compositional materials in the form of powders and protective coats for strengthening of heavy-loaded details.*

Н. А. РУДЕНСКАЯ, УП «Технопарк БНТУ «Метолит»,  
В. А. КОПЫСОВ, ОАО «Уралмашзавод», Екатеринбург,  
В. А. ГУЛЕЦКИЙ, УП «Технопарк БНТУ «Метолит»

УДК 621.74

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ БОРИДСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА

Требования современной техники к структуре и свойствам материалов возрастают, причем остаются актуальными не только проблемы, связанные с рабочей поверхностью деталей, но и касающиеся их формы и объема. Для достижения успешного результата разработки по макроматериалам должны начинаться с тщательного подбора или целенаправленного синтеза микрокомпозитов. Так, при плазменном напылении покрытий главным требованием к напыляемым материалам является сферическая или округлая форма частиц. Требование к плотности материала частиц определяется составом и структурой формируемого покрытия [1]; если оно неоднородное, то и степень его градиентности [2].

Выбор состава порошка, структуры микрочастиц зависит от свойств, которые необходимо придать напыляемому слою. Покрытия делят на оплаваемые и неоплаваемые, соответственно первая группа предназначена для работы в условиях с ударными нагрузками, вторая — для безударного нагружения. Введение в самофлюсующийся сплав различных упрочнителей в виде тугоплавких соединений существенно расширило номенклатуру оплаваемых покрытий, но одновременно снизило качество напыляемых слоев вследствие снижения воспроизводимости получаемых результатов. Причиной последнего являются некоторые тонкости, оставляемые без внимания технологами. Как правило, выбор порошка для нанесения покрытий производится по составу и дисперсности частиц, при этом практически не учитываются их морфология и структура.

В данной части исследований показано влияние состава, структуры, морфологии частиц на свойства напыленных слоев, рекомендуемых для эксплуатации в экстремальных условиях. В качестве исходных материалов использовали механические смеси порошков самофлюсующихся спла-

вов и боридов Ti, Cr. Порошки боридов получали в печи самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) (УНИХИМ, г. Екатеринбург) и в условиях плазменного потока. Покрытия наносили плазменным методом на установку ВБ-15 на образцы из Ст.3, оплавление проводили в печи и газокислородным пламенем.

Исследованиями морфологии и микроструктуры частиц боридных порошков, полученных различными методами, установлено следующее: 1) борирование в печи позволяет синтезировать частицы плотные и компактные неправильной формы; 2) продукт СВС — частицы боридов с рыхлой пористой структурой и разветвленной поверхностью; 3) порошок, полученный СВС со стабилизацией в плазменном потоке, состоит из плотных компактных частиц преимущественно сферической формы. Порошки 1) и 3) характеризуются высокой производительностью при нанесении покрытий в отличие от материала 2), из-за низкой текучести которого возникают трудности при транспортировке в подводящих порошок коммуникациях.

Результаты по оценке пористости и испытанию относительной износостойкости плазменных покрытий, упрочненных боридными фазами, приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что наибольшую абразивную стойкость имеют покрытия с тугоплавкой составляющей в виде диборидов  $TiB_2$  и  $(TiCr)B_2$  независимо от дисперсности, полученные печным методом.

Стабилизация частиц диборида хрома в плазменном потоке дает возможность существенно повысить износостойкость напыленных слоев (в 2,4–8,0 раз относительно эталона), что выводит диборид хрома на уровень  $TiB_2$  и  $(TiCr)B_2$ , полученных печным методом. Отметим, что покрытия на основе хромоникелевого сплава ПН70Х16СЗР3 в 3,6 раза более износостойкие, чем с использо-

Таблица 1. Свойства плазменных покрытий [2, 3–6]

Номер покрытия	Состав покрытия	Метод получения тугоплавкой составляющей	Дисперсность боридных порошков, мкм	Относительная износостойкость *	Пористость, %
1	ПН70Х16СЗР3+TiB <sub>2</sub>	СВС	–100	1,8	До 26
2	ПН70Х16СЗР3+TiB <sub>2</sub>	Печной	–100	4,8	16
3	ПН70Х16СЗР3+TiB <sub>2</sub>	Печной	40–100	7,7	10–12
4	ПН70Х16СЗР3+(TiCr)B <sub>2</sub>	Печной	–100	5,6	10
5	ПН70Х16СЗР3+(TiCr)B <sub>2</sub>	Печной	40–100	8,8	8
6	ПН70Х16СЗР3+(TiCr)B <sub>2</sub>	СВС	40–100	2,4	18
7	ПН70Х16СЗР3+CrB <sub>2</sub>	Печной	–100	1,2	7–12
8	ПН70Х16СЗР3+CrB <sub>2</sub>	Печной	40–100	2,2–3,0	4–8
9	ПН70Х16СЗР3+CrB <sub>2</sub>	СВС+плазма	–100	2,4	9
10	ПН70Х16СЗР3+CrB <sub>2</sub>	СВС+плазма	40–100	8,0	3–6
11	ПН70Х16СЗР3+(CrB <sub>2</sub> )Ni	Печной +плазма	40–100	4,4	3–6
12	ПН70Х16СЗР3+(CrB <sub>2</sub> )Ni	Печной +плазма	40–100	13,2	4–6
13	ПН67Х18С5Р5+CrB <sub>2</sub>	СВС+плазма	40–100	2,2	3–6

\* Эталон – сталь 50, закаленная до HRC=52–54 ед.; абразив SiC N 4; установка X-4Б. 1–8 – покрытия градиентные, 9–13 – покрытия равномерно упрочненные.

ванием в качестве основы сплава ПН67Х18С5Р5. Металлографические и микродюрметрические исследования позволяют сделать заключение о наличии в покрытии ПН67Х18С5Р5+CrB<sub>2</sub> большого количества твердых зерен как упрочняющей добавки (борида), так и основы (хромоникелевого сплава), что является главной причиной появления микротрещин в процессе изнашивания. Этот вывод сделан на основании изучения механизма изнашивания слоев-композиатов. Анализ изнашиваемой поверхности образцов показал, что в первом случае сначала происходит микрорезание сплава основы, а затем полировка изнашиваемой поверхности, которая приобретает рельефную форму, зерна тугоплавкой составляющей выступают над поверхностью сплава, таким образом, функциональная нагрузка распределяется на них. Хромоникелевый сплав выполняет роль матричного материала, прочно удерживающего твердые зерна в покрытии при изнашивании его о закреплённый абразив. Во втором случае, когда в качестве основы использован сплав ПН67Х18С5Р5, наблюдается появление микротрещин с последующим хрупким разрушением поверхности, очевидно, это является следствием высокого содержания тугоплавких включений и соответственно

недостаточным смачиванием последних матричным сплавом. Таким образом, из представленных составов наиболее эффективен для использования в качестве материала-связки износостойких композиционных покрытий сплав ПН70Х16СЗР3.

Металлизация боридных частиц в плазменном потоке (составы № 11, 12) обеспечивает повышение износостойкости покрытий от 1,5 до 11,0 раз в сравнении с другими композиатами, что объясняется не только увеличением плотности частиц и, следовательно, более полным переводом их в слой покрытия (увеличением коэффициента использования порошка), более эффективным закреплением плакированных частиц в матричном самофлюсующемся сплаве в результате повышенной смачиваемости последним металлизированных микрокомпозиатов, но и измененным составом боридных частиц в сравнении с исходными. В результате взаимодействия частиц с потоком ионизированного газа на сфероидизированных боридных частицах формируются многослойные оболочки различного состава (металл, интерметаллид, твердый раствор, сложный борид), содержащие микро- и наноразмерные фазы и слои. Примеры таких микрокомпозиатов до и после плазменного синтеза приведены в табл. 2 [2].

Таблица 2. Состав микрокомпозиатов

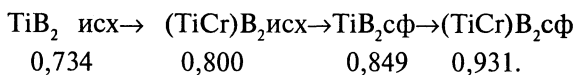
Состав ядра и плакирующего материала перед обработкой в аргоновой плазме	Состав многослойной оболочки
TiB <sub>2</sub> – Ni	TiB, Ni <sub>3</sub> B, Ni <sub>m</sub> Ti <sub>n</sub> ; Ni, 2 слоя
CrB <sub>2</sub> – Ni	Cr <sub>4</sub> NiB <sub>2</sub> ; Cr <sub>x</sub> B <sub>y</sub> Ni <sub>z</sub> ; Ni, 3 слоя
TiCrB <sub>2</sub> – Ni	TiB, CrB, Ni <sub>m</sub> Ti <sub>n</sub> ; Ni, 2 слоя

Микродюрометрические исследования свидетельствуют о повышении микротвердости частиц – плакированных микрокомпозитов до 3430–4890 кг/мм<sup>2</sup>. Главную роль в этом играет многослойная структура, насыщенная ультрадисперсными фазами, т. е. большое количество межзеренных границ, которые служат преградами для распространения трещин.

Не менее важным моментом, определяющим свойства напыленных слоев, является их структура, которая в зависимости от распределения частиц упрочняющей фазы по высоте покрытия может быть градиентной или равномерно упрочненной [1, 2]. Исследования микроструктуры композиционных покрытий показали, что в процессе оплавления наблюдается миграция частиц упрочняющей фазы как исходных, так и сфероидизированных порошков по высоте напыленного слоя. Этот эффект был установлен и описан в работах [1, 5]. Частицы, подвергнутые металлизации в потоке ионизированного газа, распределяются равномерно по сечению покрытия.

С целью выявления основных закономерностей распределения тугоплавких частиц по высоте покрытия варьировали соотношение дисперсностей в объеме упрочняющей компоненты, соотношение объемов самофлюсующегося сплава и упрочняющей фазы, а также состав компонента-упрочнителя.

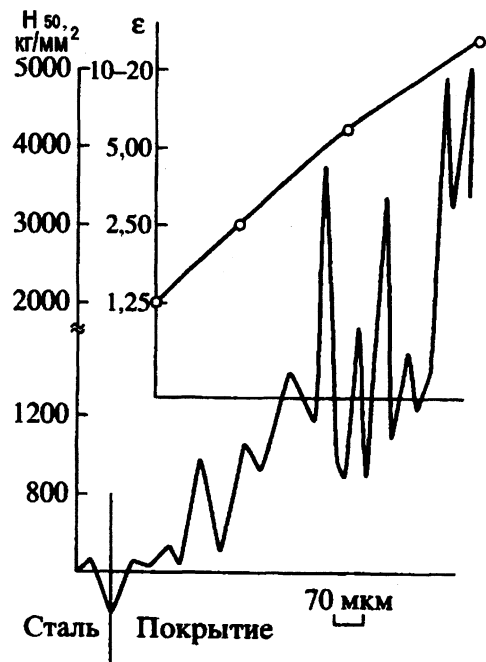
Проведенные исследования позволили дополнить ряд материалов, систематизированных в работе [2], с учетом степени миграции частиц по высоте напыленного слоя в процессе оплавления покрытий. При этом бориды титана и титана-хрома расположились в ряд интенсивности всплывания в поверхностные слои покрытия следующим образом:



Частицы дихорида хрома распределяются в покрытии равномерно. Цифрами показана максимальная доля тугоплавких частиц, обнаруженных в поверхностных слоях покрытий с использованием исходных и сфероидизированных боридных порошков в качестве упрочняющих компонентов.

На характер распределения тугоплавких частиц по высоте покрытия влияют не только их размер и плотность, но и эффективность сфероидизации. Сфероидизация в плазменном потоке частиц (TiCr)V<sub>2</sub> позволила на 14–19% повысить интенсивность их миграции по высоте напыленного слоя. Градиентность структуры является причиной послынного изменения твердости и износостойкости покрытий (см. рисунок). Таким образом, формируется поверхностная часть покрытия с повышенными эксплуатаци-

онными свойствами – «рабочий слой», размером, составом и структурой которого позволяют управлять ранее установленные закономерности: диаграммы относительной износостойкости – твердости, зависимости относительной износостойкости от состава, размера, тугоплавких составляющих, условий оплавления покрытий [2, 4, 7, 8].



Изменение микротвердости и износостойкости покрытий в направлении от границы раздела к поверхности напыленного слоя при всплывании исходных и сфероидизированных тугоплавких частиц. x400

Полное объяснение полученных результатов на данной стадии экспериментальных исследований не найдено, так как слишком большое количество факторов необходимо принять во внимание: форму частиц, наличие пористости в частицах исходного порошка, интенсивность взаимодействия с самофлюсующимся сплавом, гидродинамические условия всплывания, изменение химического и фазового состава частиц в процессе сфероидизации в плазменном потоке.

Интерес представляют все типы покрытий, тем более, что, несмотря на жесткие условия процесса изнашивания, при показателях износостойкости выше 7 износ покрытий прекращается. Однако для практического использования материалов важное значение имеют длительно сохраняющиеся неравновесные состояния вещества, в связи с этим микрокомпозиты – продукты плазменного синтеза являются наиболее перспективными системами для деталей и узлов, работающих в экстремальных условиях.

### Выводы

1. В условиях плазменного потока получены новые композиционные порошки и покрытия

**Литература**

(градиентно-слоевые композиты), характеризующие многослойной микро- и макроструктурой и переменным по сечению составом с повышенными эксплуатационными свойствами.

2. Показано влияние составов упрочняющей фазы и матричного сплава, дисперсности, морфологии, способа получения частиц компонента- упрочнителя, степени сфероидизации и интенсивности миграции тугоплавких частиц по высоте слоя в процессе оплавления на свойства покрытий.

1. Клинская-Руденская Н.А., Копысов В.А. // Физика и химия обработки материалов. 1995. №1. С. 69–81.
2. Руденская Н.А. Разработка нового класса композиционных порошков и многофункциональных газотермических покрытий на основе соединений  $A_{III-VI}B_2$ ; Автореф. дис. ... д-р техн. наук. Екатеринбург, 2000.
3. Пат. РФ 2088688.
4. Пат. РФ 2103112.
5. Пат. РФ 2112075.
6. Пат. РФ 2136777.
7. Руденская Н.А., Жилев В.А., Панкратов А.А. // Защита металлов. 1999. Т.35. №1.
8. Клинская-Руденская Н.А., Кузьмин Б.П. // Физика и химия обработки материалов. 1996. №1.



**НОВЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ МОДЕЛИ ПО ЛИТЬЮ И МЕТАЛЛУРГИИ ИЗ ФОНДА РНТБ**

Полезная модель **2336 РБ**, МПК В 22D 11/00.  
**УСТАНОВКА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ.**

Патентообладатель: Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси» (ВУ)

Полезная модель относится к металлургии, в частности к непрерывному литью, и предназначена для получения проволоки круглого или другого профиля из цветных и драгоценных металлов. Задачей, на решение которой направлена заявляемая полезная модель, является получение качественной проволоки из цветных и драгоценных металлов с высокой производительностью и снижением эксплуатационных расходов. В результате решения задачи была обеспечена стабильность процесса литья за счет применения системы принудительного охлаждения фильеры; снижены эксплуатационные расходы за счет применения в качестве охлаждающей среды воды; обеспечено получение проволоки из цветных и драгоценных металлов с высоким качеством наружной поверхности и хорошими эксплуатационными свойствами за счет обеспечения интенсивного охлаждения отливки после кристаллизации.

Полезная модель **2343 РБ**, МПК В 22 D 11/04.

**КРИСТАЛЛИЗАТОР ДЛЯ НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ЧУГУНА.**

Патентообладатель: Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси» (ВУ)

Полезная модель относится к металлургии, в частности к непрерывно-циклическому литью полых заготовок из чугуна мерной длины. Технической задачей заявляемого устройства является повышение стабильности процесса литья и ресурса работы кристаллизатора за счет выбора оптимальной толщины стенки гильзы и создания профиля ее рабочей поверхности, обеспечивающего свободное извлечение отливки из кристаллизатора, а технический результат заключается в увеличении работоспособности кристаллизатора в 2,0–2,5 раза и исключении обрывов затравочной части отливок по вине кристаллизатора.

Полезная модель **7631 РБ**, МПК В 22D 18/06.

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.**

Патентообладатель: Производственное Республиканское унитарное предприятие «Минский моторный завод» (ВУ)

Изобретение относится к области литейного производства, в частности к устройствам для литья под давлением с использованием вакуума. Задачей изобретения является упрощение конструкции и повышение надежности устройства за счет исключения вакуум-насоса, ресивера, системы клапанов. Указанная задача достигается тем, что в устройстве, содержащем пресс-форму с формообразующей полостью и вентиляционными каналами, прессующий поршень, размещенный в наполнительном стакане, который имеет заливочное отверстие с запорным элементом и штоковую полость, закрытую крышкой, средство для создания разрежения в формообразующей полости пресс-формы, соединенное трубопроводом с вентиляционными каналами, согласно изобретению, образовано штоковую полостью наполненного стакана, а в крышке выполнен канал, сообщающий штоковую полость с трубопроводом. Применение данного устройства позволяет значительно упростить конструкцию, а также повысить надежность работы за счет исключения многоступенчатой системы управления. Кроме того, предлагаемая конструкция позволит снизить брак отливок по воздушной пористости, улучшить качество поверхности и товарный вид отливок, требующих применения высокотемпературных технологических режимов.

**Документы не продаются!**

Ознакомиться с предложенными изданиями можно в читальном зале патентных документов Республиканской научно-технической библиотеки (к. 503). Библиотека также оказывает дополнительные услуги по копированию и сканированию фрагментов документов, записи на дискету, CD-ROM, флэш-карту и др. Более подробную информацию о режиме работы и услугах можно получить по адресу: 220004, г. Минск, проспект Победителей, 7, РНТБ, тел. 203-31-00, [www.rlst.org.by](http://www.rlst.org.by), e-mail: [edd@rlst.org.by](mailto:edd@rlst.org.by).