

УДК 621.791.927.6

**ИЗНОСОСТОЙКИЕ БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПОКРЫТИЯ,
ПОЛУЧЕННЫЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ**Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО ^а, В. М. КОНСТАНТИНОВ ^а, А. Л. ЛИСОВСКИЙ ^а

The performance of boron-containing DASF powder-based coatings (hardness, wear resistance) have been studied. The coatings were applied by electrocontact welding. A dependence have been determined of chemical composition on coatings properties. A novel iron-based DASF powder has been developed to apply coatings by electrocontact welding.

Ключевые слова: легирование, электроконтактная приварка, износостойкость, покрытия.

Введение. В ранее выполненных нами работах [1, 2] были рассмотрены структура и свойства газотермических покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся (ДЛС) порошков. Высокие эксплуатационные характеристики указанных покрытий обусловили их применение в восстановительно-упрочняющих технологиях ряда предприятий. Однако газотермические технологии, обладая некоторыми преимуществами, имеют существенные недостатки, ограничивающие область их рационального использования. Так, например, интенсивная тепловая обработка детали не позволяет использовать указанные технологии для восстановления высокоточных деталей и деталей сложной пространственной формы. Вместе с тем известно [3, 4], что метод электроконтактной приварки, заключающийся в припекании порошка импульсами тока в сочетании с силовым воздействием, обладает ценными, а в ряде случаев уникальными свойствами: низкая энергоемкость и незначительная интенсивность тепловой обработки детали; высокий коэффициент использования порошка.

Указанные выше причины обусловили закономерность следующего этапа исследований, цель которого — исследование структуры и свойств защитных покрытий из ДЛС порошков, полученных электроконтактной приваркой, и оптимизация химического состава порошков.

Распространенные наплавочные порошки и смеси предназначены прежде всего для газотермических методов нанесения покрытий и поэтому малопригодны для формирования покрытия электроконтактным методом. Ряд этих материалов обладает низкой прессуемостью и ферромагнитными свойствами, требуемых для электроконтактной приварки.

Анализ процесса приварки свидетельствует о необходимости наличия достаточного количества флюсующе-раскисляющих элементов в первую очередь в поверхностном слое — слое частицы. Все это характерно для диффузионно-легированных порошков (рис. 1).

Методика испытаний. В работе использовали установку для электроконтактной приварки, разработанную НПО «Ремдеталь» (г. Москва). Применяли ДЛС порошки, изготовленные на основе порошков ПЖ, ПР-Х18Н9, ПР-10Р6М5.

^а Полоцкий государственный университет, Беларусь, 211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

Исследования проводили с использованием методов металлографического, микродюрOMETрического, дюрOMETрического анализа. Износостойкость покрытий оценивали на модернизированной машине трения СМЦ-2 по методу Шкода—Савина.

Результаты исследований и их обсуждение. Было установлено, что легирование бором благоприятно сказывается на привариваемости порошков. Для приварки характерно локальное оплавление частиц. В рассматриваемом случае процесс активизируется за счет контактного эв-

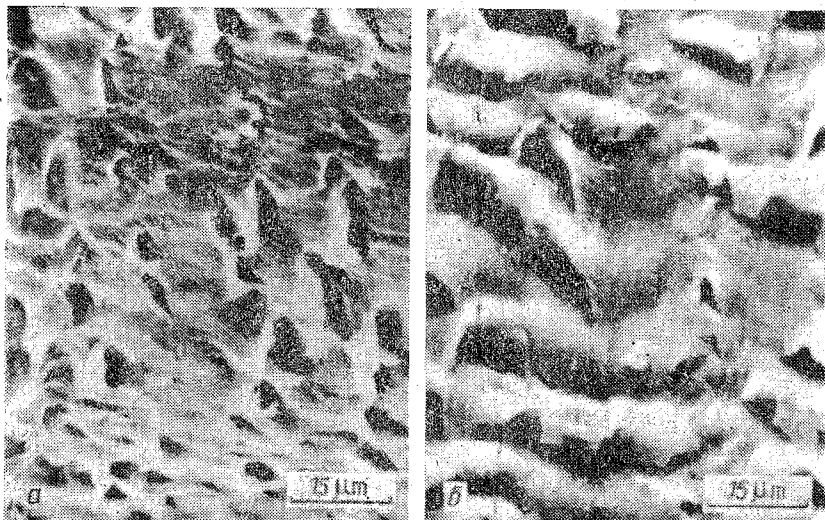


Рис. 1. Микроструктура частиц самофлюсующихся порошков на железной основе: а — объемно-легированный порошок ПР-Х4Г2Р2С2Ф; б — диффузионно-легированный порошок ПР-45Р4 ($\times 200$)

тектического плавления соприкасающихся боридных оболочек и подложки (рис. 2).

Микроструктура покрытий представляет собой боридные, бороцементитные фазы, расположенные по границам зерен и ферритной или аустенитной матрицы. Для некоторых ДЛС порошков этот эффект ограничивается их низкой прессуемостью. Повышения микротвердости железной матрицы практически не происходит. Так, например, в покрытии из порошка на основе ПЖ присутствуют участки феррита с микротвердостью $H_{\mu} = 1,0—1,5$ ГПа. Отмечено снижение микротвердости боридных оболочек до уровня низшего бориды железа и бороцементита. В некоторых случаях обнаружено образование твердого раствора бора в α -железе в местах сплавления частиц и по границам слоев при многослойной наплавке. Несферическая форма частиц предпочтительнее. Оплавление и уплотнение покрытия в этом случае происходит более интенсивно. Твердые порошки сферической формы (ПР-10Р6М5) труднее поддаются прессованию и хуже оплавляются по причине малого межчастичного контакта и образования арочного эффекта. Поэтому приваренные покрытия из легированных порошков сферической формы имеют высокую пористость и трещины.

Характерная особенность электроконтактного припекания — наличие высоких скоростей нагрева—охлаждения и обусловленного ими значительного температурного градиента по сечению детали. Это приводит к закалке тонкого слоя детали, непосредственно прилегающего к покры-

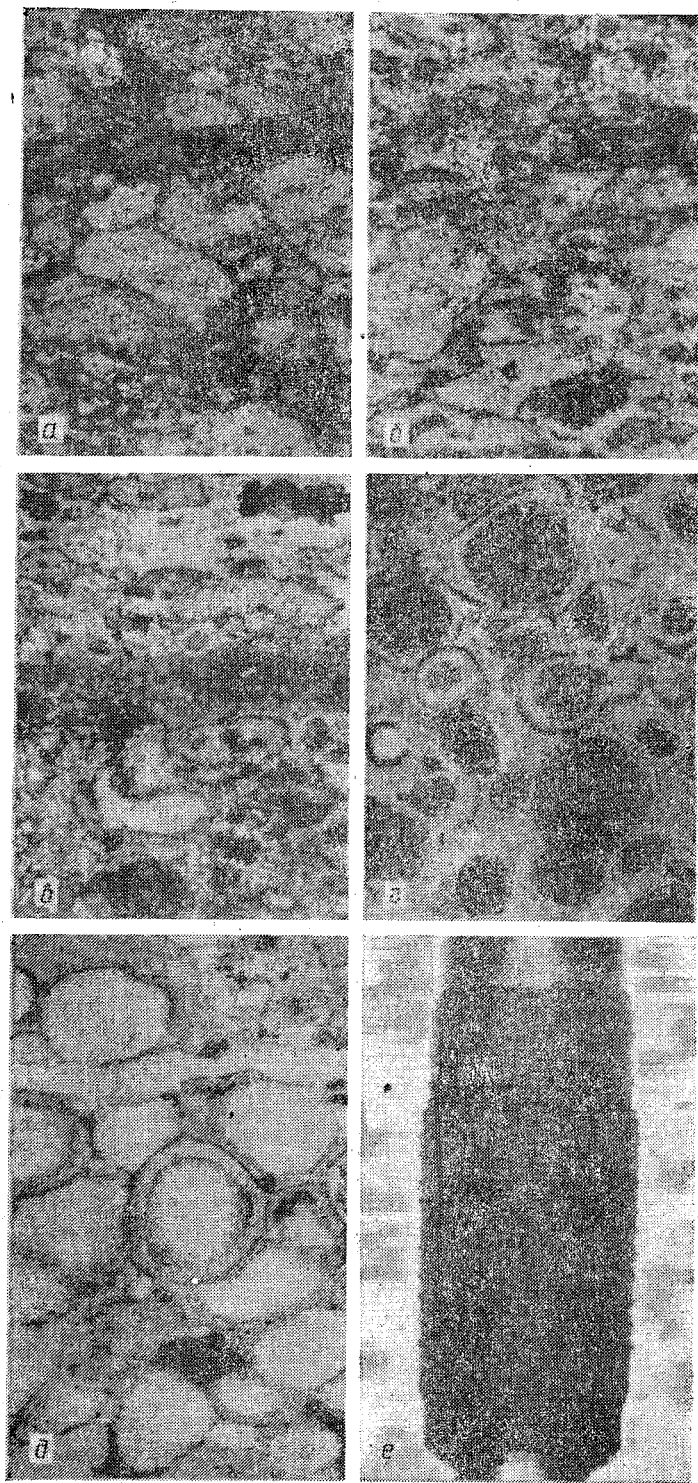


Рис. 2. Микроструктура приваренных покрытий из диффузионно-легированных порошков: *a* — ПЖ (1,6 мас. %); *б* — ПЖ (2,7 мас. %); *в* — ПЖ (4,6 мас. %); *г* — 10P6M5; *д* — 12X18H9 ($\times 400$); *е* — внешний вид приваренного покрытия из ДЛС ПЖ

тию. В нашем случае твердость закаленного подслоя достигала 790 HV. Повторная приварка снижает твердость как закаленного подслоя, так и самого покрытия. Твердость подслоя после двухслойной приварки составляет 470 HV. Интенсивнее процессы отпуска протекают после повторной приварки, в дальнейшем микротвердость подслоя практически не изменяется.

Повышение содержания углерода в навариваемом порошке приводит к растрескиванию покрытий при остывании и, как следствие, отслаива-

Таблица 1. Износостойкость и твердость покрытий из ДЛС порошков на основе ПЖ

| Метод нанесения покрытий | Микротвердость структурных составляющих Н _ц . ГПа | | Твердость покрытий, HV | Относительная износостойкость |
|----------------------------|--|---------|------------------------|-------------------------------|
| | бориды | матрица | | |
| Газопорошковая наплавка | 13,81 | 3,97 | 540 | 9,1 |
| Электроконтактная приварка | 12,10 | 1,58 | 750 | 13,8 |

Примечание. Эталон — техническое железо.

Таблица 2. Относительная износостойкость покрытий из самофлюсующихся порошков

| Метод нанесения покрытия | Материал покрытия | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------|---------------|------------|--------------|-----------|
| | ПЖР-С1 | ПР-45Р4 | ПР-10Р6М5 (б) | ПР-Х18Н9Р4 | ПР-Х4Г2Р4С2Ф | ПГ-10Н-01 |
| Газопорошковая наплавка | 3,5 | 4,5 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 2,5 |
| Лазерная наплавка | 5,3 | 6,5 | 5,5 | 5,4 | 4,2 | 2,8 |
| Электроконтактная приварка | 4,9 | — | — | 4,1 | — | — |

Примечание. Эталон — сталь 45.

нию последних от подложки. Аналогичные причины обуславливают низкое качество покрытий из порошка быстрорежущей стали ПР-10Р6М5, обладающего низкой прессуемостью. Для предотвращения растрескивания структура ядра частицы должна быть ферритной либо аустенитной с минимальным содержанием углерода. Наиболее полно указанным требованиям соответствует ДЛС порошки на основе порошка ПЖ [4]. Дальнейшие исследования проводили для оптимизации химического состава указанного порошка.

Твердость приваренных покрытий из ДЛС порошков ПЖ находится на уровне твердости покрытий, полученных лазерной наплавкой, и превосходит твердость наплавленных покрытий из более твердых порошков (рис. 3). Покрытия более пластичны, так как в них присутствуют участки феррита. Благоприятное соотношение микротвердости упрочняющих фаз и ферритной матрицы повышает уровень износостойкости при трении скольжения (табл. 1). Отметим, что в отличие от хрупкой эвтектики в

наплавленных покрытиях роль матричной фазы в приваренных покрытиях выполняет пластичный феррит. При наплавке неизбежно выгорание легирующих элементов. Полное расплавление способствует повышению твердости матрицы. При электроконтактной приварке эти процессы принципиально исключены. В результате приваренные покрытия из ДЛС порошков ПЖ превосходят по износостойкости наплавленные покрытия из более легированных и дорогих материалов (табл. 2).

С увеличением содержания бора доля феррита в покрытии уменьшается пропорционально росту боридного слоя на порошке. Покрытия при

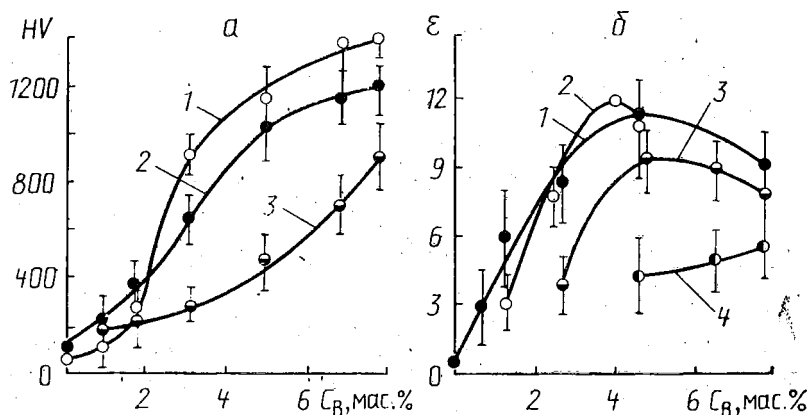


Рис. 3. Влияние содержания бора в ДЛС порошке на основе ПЖ на: *a* — твердость; *б* — износостойкость; 1 — лазерная наплавка; 2 — электроконтактная приварка; 3 — газопламенная наплавка; 4 — печное оплавление

содержанию бора более 6 мас.%, несмотря на высокую твердость, не представляют практической ценности, так как являются хрупкими. Установлено оптимальное содержание бора, обеспечивающее высокую износостойкость и достаточную пластичность покрытий, с учетом экстремального влияния бора на износостойкость.

Заключение. Проведенные работы позволили разработать специализированный диффузионно-легированный порошок ПЖР-С1 (ТУ 230-130-009—91), предназначенный для электроконтактной приварки защитных покрытий триботехнического назначения. Серийный выпуск этого порошка налажен на Молодечненском заводе порошковой металлургии (Беларусь). В качестве сырья для получения ДЛС порошков наряду с порошком ПЖ возможно использование шламовых отходов.

Обозначения

ε — относительная износостойкость скольжения; HV — твердость по Виккерсу; H_{μ} — микротвердость; C_B — содержание бора.

Литература

1. Пантелеенко Ф. И., Ворошнин Л. Г., Любецкий С. Н. Влияние структуры защитных покрытий на их износостойкость // Трение и износ, 12 (1991), № 2, 310—314
2. Пантелеенко Ф. И., Константинов В. М. Исследование износостойкости борсодержащих эвтектических покрытий из ДЛС порошков // Трение и износ, 15 (1994), № 2, 243—247
3. Дорожкин Н. Н. Упрочнение и восстановление деталей машин металлическими порошками. Минск: Наука и техника (1975)
4. Поляченко А. В., Пантелеенко Ф. И., Бабаев И. А., Константинов В. М. // Сварочное производство (1993), № 6, 11—12

Поступила в редакцию 10.01.95.