

УДК 621.791.92:620.178

АБРАЗИВНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДЛС-ПОРОШКОВ

В. М. КОНСТАНТИНОВ^{a+}, Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО^a, В. П. ИВАНОВ^a

Изучена абразивная износостойкость эвтектических покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся (ДЛС) порошков на железной основе. Установлен экстремальный характер влияния углерода на износостойкость, обусловленный конкурирующими процессами упрочнения–разупрочнения углеродом железной матрицы и уменьшением твердости избыточных фаз при переходе от боридов к бороцементиту. Выявлена нелинейная зависимость абразивной износостойкости от содержания бора, обусловленная интенсивным охрупчиванием высоколегированных покрытий. Изучено явление превышения абразивной износостойкости покрытий, полученных газоплазменной наплавкой над покрытиями, полученными лазерной наплавкой, в области малых содержаний бора. Разработаны ДЛС-порошки для покрытий, которые превосходят по абразивной износостойкости покрытия из самофлюсующихся порошков на никелевой основе.

Ключевые слова: самофлюсующиеся порошки на железной основе, наплавка, абразивная износостойкость.

Введение. Элементы абразивного изнашивания характерны для многих эксплуатационных ситуаций. Известно, что интенсивность абразивного изнашивания во многом определяется твердостью контактирующих материалов. При этом определенное влияние оказывают величина удельной нагрузки и скорость перемещения [1]. Очевидным представляется путь повышения абразивной износостойкости посредством повышения твердости материала защитного покрытия. Отмечалась перспективность применения композиционных материалов с карбидным и боридным упрочнением [2]. Ранее было установлено [3] наличие корреляции между твердостью и абразивной износостойкостью эвтектических борсодержащих покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся (ДЛС) порошков. Отмечен высокий уровень абразивной износостойкости рассматриваемых покрытий. К настоящему времени разработан ряд ДЛС-порошков для защитных покрытий, имеющих различное соотношение структурных составляющих [4]. Однако данные по абразивной износостойкости этих покрытий носят фрагментарный характер. Дальнейшие исследования процессов абразивного изнашивания наплавленных покрытий из ДЛС-порошков имеют целью выяснение характера влияния структуры, химического состава и метода наплавки на абразивную износостойкость покрытий.

Методика испытаний. Композиционные борсодержащие покрытия из ДЛС-порошков получали методами газопламенной и лазерной наплавки. Абразивную износостойкость определяли в испытаниях на абразивное изнашивание при трении о закрепленный абразив (ГОСТ 17367-710). В работе использовали наждачную шкурку 94А32ПМ-1210 (ГОСТ 6456-86). Остальные методики изучения покрытий аналогичны, использованным в работе [4].

Результаты исследования и их обсуждение. Учитывая определяющее влияние твердости на абразивную износостойкость, было проведено изучение твердости покрытий. Известно упрочняющее действие бора на материалы на железной основе [3]. Степень упрочнения зависит от ряда факторов. Остановимся на них подробнее. Обнаруженное повышение твердости с увеличением содержания бора является очевидным. Однако уровень упрочнения различен. По твердости в исходном состоянии материалов (без диффузионного леги-

^a Полоцкий Государственный университет. 211440. Беларусь, Блохина. 29.

⁺ Автор, с которым следует вести переписку.

рования бором) ряд возрастания твердости следующий: ПЖВ – ПРХ-18Н9 – ПР-сталь 45 – ПР10-Р6М5. После борирования порядок меняется: ПР-Х18Н9 – ПЖВ – ПР-сталь 45 – ПР10-Р6М5. Наименьшая твердость таким образом характерна для покрытий из порошка ПР-Х18Н9. Это связано с малой растворимостью бора в аустените и, как следствие, неупрочняемостью последнего. Отметим, что по относительному повышению твердости этот материал превосходит наиболее твердый ПР-10Р6М5. Аналогичная ситуация имеет место для самого мягкого в исходном состоянии порошка ПЖВ. Таким образом наибольшие приращения твердости получают покрытия из наиболее мягких материалов с аустенитной и ферритной матрицей. Это оказывает существенное влияние на абразивную износостойкость покрытий. Повышение исходной легированности ферритной матрицы приводит к значительному росту твердости покрытий. Так, например, увеличение содержания углерода в порошке стали 45 приводит к повышению твердости покрытий, полученных газопламенной наплавкой, на 130...160 *HV*. Для покрытий, полученных лазерной наплавкой эта разница значительно меньше. Причина (как было показано ранее [4]) – в метастабильной структуре быстроохлажденных покрытий и значительной степени растворения бора и углерода в феррите. По этой же причине твердость доэвтектических (малое содержание бора) покрытий, полученных газопламенной наплавкой больше, чем после лазерной наплавки. В этом случае большая равновесность первых приводит к большей степени гетерогенности и большому количеству избыточных фаз. Данная закономерность подтверждается результатами микродюрOMETРИЧЕСКИХ исследований и справедлива для всех рассмотренных материалов. Повышение твердости заэвтектических покрытий (большое содержание бора) традиционно отмечаемое исследователями явление, обусловленное известными причинами.

Как было установлено ранее [3], с повышением твердости покрытий из ДЛС-порошков растет их абразивная износостойкость (рис. 1).

I , мг/м

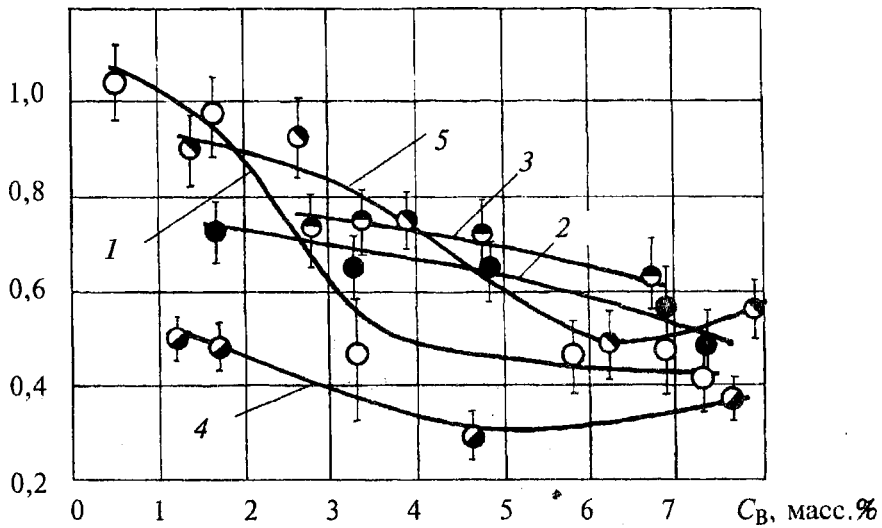


Рис. 1. Влияние содержания бора в ДЛС-порошках и способа наплавки на интенсивность абразивного изнашивания покрытий: 1, 2, 3 – покрытия из ДЛС порошка ПР45Р4, соответственно лазерная, газопламенная наплавки и печное оплавление; 4 – покрытие из ДЛС-порошка ПР-10Р6М5, газопламенная наплавка; 5 – покрытие из ДЛС порошка ПР-Х18Н9Р4, газопламенная наплавка

Для низколегированных материалов (ПЖВ, ПР-сталь 45) наблюдается близкая к линейной зависимость интенсивности изнашивания от содержания бора. Ферритная матрица почти не растворяет бора, поэтому пропорционально увеличению содержания бора растет количество избыточных фаз, упрочняющих покрытие. Повышение содержания углерода так же повышает абразивную износостойкость наплавки (рис. 2). Рассматриваемая зависимость близка к экстремальной. Наиболее эффективное упрочнение наблюдается в области доэвтектических содержаний углерода (ПР – сталь 45). Причина этого в следующем.

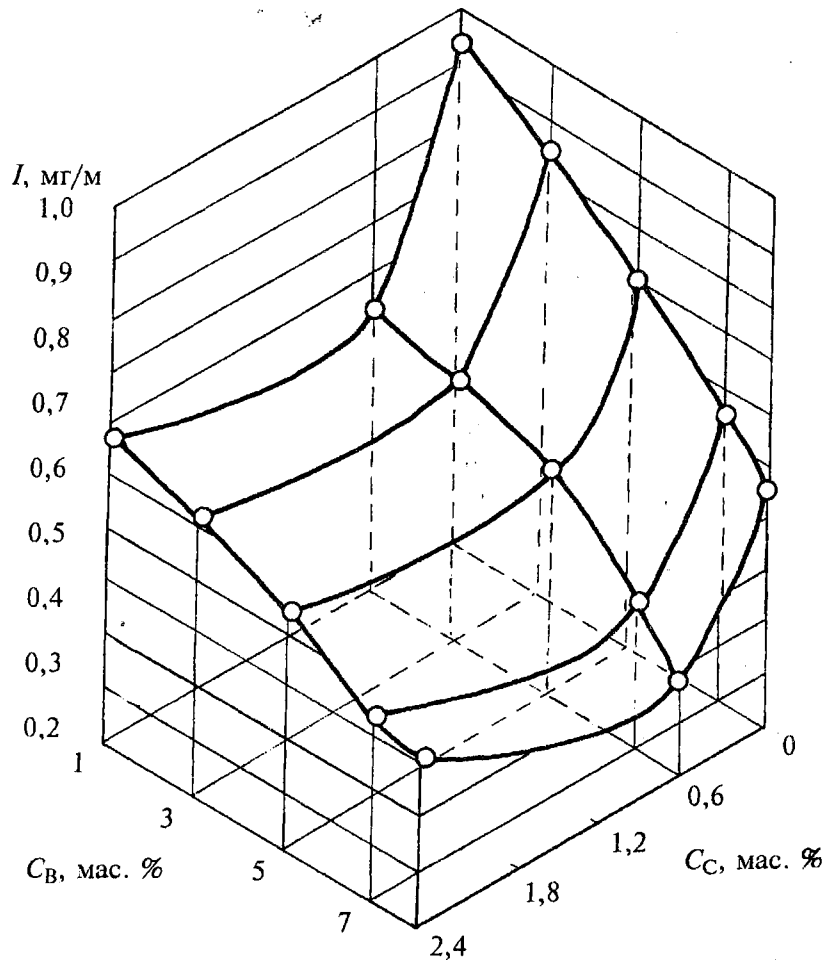


Рис. 2. Влияние химического состава железо-бор-углеродистых ДЛС-порошков на интенсивность абразивного изнашивания покрытий, полученных газопламенной наплавкой.

Процессы микрорезания, интенсивно происходящие при абразивном изнашивании, эффективно тормозятся наличием избыточных фаз в прочной матрице. Поэтому износостойкость композиционного материала определяется в первую очередь прочностью матрицы, твердостью избыточных фаз и их соотношением. Если принять соотношение фаз постоянным (установлено, что колебания содержания избыточных фаз для разных сталей при постоянном содержании бора незначительны), то окажется, что абразивная износостойкость будет ограничиваться механическими характеристиками структурных составляющих. Отметим, что увеличение содержания углерода в сплаве при прочих равных условиях приводит к повышению доли борцементита, а следовательно, к уменьшению микротвердости избыточных фаз и повышению их хрупкости. Указанные причины обуславливают более низкий уровень абразивной износостойкости покрытий из бористых чугунов.

Известно экстремальное влияние углерода на прочность сталей. Наибольшими прочностными свойствами в равновесном состоянии обладает перлитная матрица. Следовательно повышение содержания углерода сверх эвтектоидного охрупчивает железоборуглеродистые сплавы, снижая тем самым абразивную износостойкость последних.

Вышеизложенные рассуждения и полученные экспериментальные данные дают основание полагать, что влияние углерода на абразивную износостойкость носит экстремальный характер. Наилучшим является содержание углерода в покрытии близкое к эвтектоидному (рис. 2). Следует отметить относительно высокий уровень износостойкости борис-

тых чугунов. Эти материалы, учитывая их низкую стоимость, весьма привлекательны для получения износостойких покрытий.

С повышением твердости матрицы повышается абразивная износостойкость наплавленных покрытий. Наиболее износостойкими в рассматриваемых условиях являются покрытия из ДЛС-порошка ПР10Р6М5 (рис. 1). Это обусловлено как высокой твердостью матрицы, так и твердостью упрочняющих фаз. Однако, в отличие от низколегированных покрытий зависимость износостойкости от содержания бора нелинейна. Повышение содержания бора более 6 мас. % приводит к катастрофическому охрупчиванию покрытий, что отражается на износостойкости. Аналогичное влияние оказывает бор на абразивную износостойкость композиционного покрытия на основе аустенитной стали Х18Н9. Охрупчивание в этом случае более значительно. Исследованные сплавы можно расположить по степени повышения абразивной износостойкости в следующий ряд: ПЖ – ПР-С3 – ПР-сталь45 – ПР-Х18Н9 – ПР-10Р6М5. Этот ряд не совпадает с рядом возрастания твердости. Более твердые покрытия не всегда обладают большей абразивной износостойкостью (рис. 3).

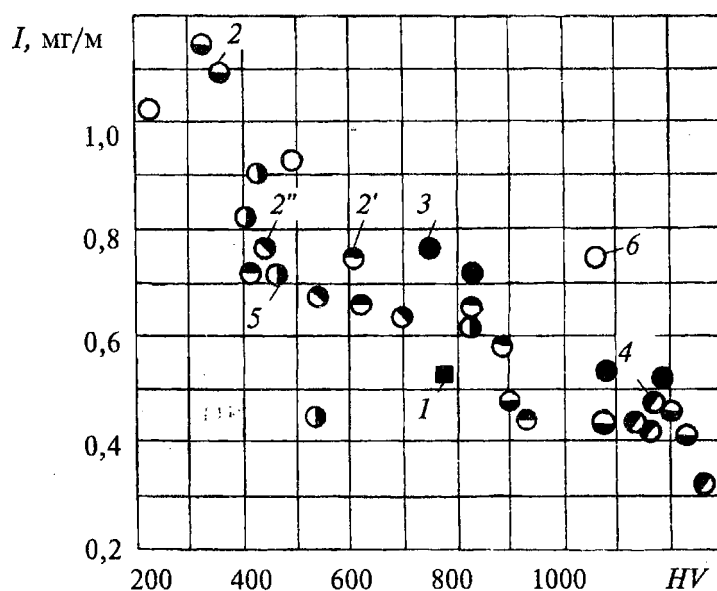


Рис. 3. Влияние твердости наплавленных покрытий из ДЛС порошков на интенсивность абразивного изнашивания: 1 – ПГ-10Н01, газопламенная наплавка; 2, 2', 2'' – ДЛС ПР-45Р4, соответственно газопламенная, лазерная наплавка, печное оплавление; 3 – ДЛС ПР-С3, газопламенная наплавка; 4 – ДЛС ПР-10Р6М5, газопламенная наплавка; 5 – ДЛС ПР-Х19Н9Р4, газопламенная наплавка; 6 – ДЛС ПЖВ, газопламенная наплавка

Можно предположить, что в условиях даже незначительных ударных или динамических нагрузок эта закономерность будет проявляться более резко. Поэтому наиболее износостойкие из рассматриваемых материалов имеют низкую ударную вязкость [4]. Есть весомые основания поставить под сомнение линейную зависимость между твердостью и абразивной износостойкостью рассматриваемых композиционных материалов. Видимо, решающую роль в нашем случае играют не столько абсолютные дюрметрические показатели покрытий, сколько соотношение микродюрметрических и количественных показателей структурных составляющих. С этих позиций перспективными представляются покрытия, содержащие бористые феррит или перлит и избыточное бориды.

Повышение скоростей нагрева и охлаждения материалов при наплавке повышает абразивную износостойкость покрытий. Абсолютной данная зависимость является лишь при малых переохлаждениях. При переходе к лазерной наплавке решающее значение начинает играть тип структуры. В доэвтектической зоне (малые содержания бора) покрытия с малыми значениями переохлаждений при наплавке (газопламенная, печная) превосходят по износостойкости покрытия, полученные лазерной наплавкой. Причины указанного явления связаны с особенностями строения доэвтектических покрытий [4]. Более высокий уровень

износостойкости эвтектических покрытий обусловлен более высокой дисперсностью лазерных структур, их текстурованностью и метастабильностью твердых растворов.

Заключение. В результате проведенных исследований установлены:

– экстремальный характер влияния углерода на абразивную износостойкость эвтектических железо–бор–углеродистых покрытий, обусловленный конкурирующими процессами упрочнения–разупрочнения углеродом эвтектической матрицы и уменьшением твердости избыточных фаз при переходе от боридов железа к бороцементиту;

– выявлена нелинейная зависимость абразивной износостойкости эвтектических борсодержащих покрытий от содержания бора. С повышением степени легированности эвтектики зависимость приближается к экстремальной. Это обусловлено интенсивным охрупчиванием высоколегированных покрытий в области больших содержаний бора.

Таким образом для гетерогенных эвтектических борсодержащих покрытий обнаружены некоторые отклонения от закономерностей абразивного изнашивания, характерных для гомогенных материалов. В этой связи научный и практический интерес представляют дальнейшие исследования по оптимизации структуры, фазового состава, микродюрметрических характеристик эвтектических гетерогенных покрытий.

Обозначения

I – интенсивность изнашивания при трении о закрепленные абразивные частицы;
HV – твердость по Виккерсу.

Литература

1. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. Справочное пособие. Киев: Техніка (1989)
2. Виноградов В.И., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. - Москва: Машиностроение (1990)
3. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Любецкий С.Н. Влияние структуры защитных покрытий на их износостойкость // Трение и износ, **12** (1991), №2, 310–314
4. Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Исследование износостойкости борсодержащих эвтектических покрытий из ДЛС порошков // Трение и износ, **15** (1994), № 2, 244–247

Поступила в редакцию 2.03.96

Konstantinov V. M., Panteleenko F. I., Ivanov V.P. Abrasive wear resistance of coatings based on diffusively-alloyed powders.

Abrasive wear-resistance of coating formed from diffusely-alloyed self fluxing (DASF) powder based on iron is investigated depending on the chemical composition and process of application. It was found out that coatings from DASF powder based 10P6M5 possess the highest abrasive wear-resistance.