

УДК 621.791.92:620.178

ПАНТЕЛЕЕНКО Ф. И., КОНСТАНТИНОВ В. М.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ БОРСОДЕРЖАЩИХ
ЭВТЕКТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДЛС ПОРОШКОВ**

Борсодержащие композиционные покрытия эвтектического типа обладают высокой износостойкостью и поэтому все чаще применяются для защиты деталей, работающих в условиях различных видов изнашивания [1]. Предпочтительными методами получения таких покрытий являются газотермические. Борсодержащие наплавленные покрытия из диффузионно-легированных самофлюсующихся (ДЛС) порошков на железной основе выгодно отличаются от аналогичных защитных покрытий из объемно-легированных самофлюсующихся (ОЛС) порошков более высокими триботехническими показателями [2]. Разработанная технология диффузионного легирования бором ферромагнитных порошков предоставляет широкие возможности управления химическим составом наплавленных покрытий [3]. Поэтому вопрос оптимизации химического состава покрытий для конкретных условий изнашивания весьма актуален.

Резюмируя результаты ранее выполненных работ [2—4], можно сделать следующие выводы. Износостойкость борсодержащих эвтектических композиций на железной основе аналогична, а в некоторых случаях превосходит последнюю для покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов. Процесс трения происходит с образованием вторичных структур окислительного типа, обеспечивающих снижение коэффициентов трения до 0,03—0,037. Зависимость износостойкости трения скольжения от количества боридных фаз носит экстремальный характер. Отмечена высокая несущая способность покрытий в широком диапазоне скоростей и нагрузок.

Цель данной работы — исследование влияния химического состава ДЛС порошков и технологии наплавки на износостойкость защитных покрытий при трении скольжения.

В качестве основы для получения ДЛС порошков использовали порошок производства НПО «Тулачермет» ПЖВ, ПР-сталь 45, ПР-10Р6М5, ПР-С3. Сравнение эксплуатационных свойств проводили с покрытиями из ОЛС порошков ПГ-10Н-01 и ПР-Х4Г2Р4С2Ф. Нанесение покрытий осуществляли методами газопламенной и лазерной наплавки. В работе использовали технологический лазер «Кипр-1». Для газопламенной наплавки применяли газовые горелки ГН-2 и ГН-3. Исследование покрытий проводили методами микроструктурного (микроскопы МИМ-7, Unimet Union-7321, структурный анализатор Omnimet Union), микродюрметрического (микротвердомер ПМТ-3) и рентгеноструктурного (дифрактометр ДРОН-3) анализов. Химический состав порошков и покрытий определяли на газоанализаторе АН 75-29 и титриметрическим методом. Испытание ударной вязкости проводили на стандартных образцах (ГОСТ 9454-78) с наплавленными покрытиями. Наплавку осуществляли со стороны, противоположной концентратору. После испытаний на копре МК-30А вычис-

ляли относительную ударную вязкость наплавов. Испытания износостойкости при трении скольжения без смазки проводили на модернизированной установке СМЦ-2 по методу Шкоды — Савина. В качестве контртела использовали диск из твердого сплава ВК-8. Износ оценивали по объему образовавшейся лунки. Твердость покрытий измеряли по методу Виккерса на приборе ИТ 5010-01. Полученные результаты подвергали обработке с использованием аппарата математической статистики.

Определяющим фактором физико-механических свойств наплавленных покрытий является их структурное состояние. В отличие от равновесных структур покрытий (газопламенная и плазменная наплавка), рассмотренных в работе [2], при лазерной наплавке происходит образование метастабильных структур. Высокие значения переохлаждения расплава способствуют пересыщению твердых растворов и формированию мелкозернистой структуры с более равномерным расположением избыточных боридных фаз по сечению покрытия. Покрытия текстурированы в направлении наибольшего теплоотвода.

Рассмотренные факторы обуславливают повышение износостойкости покрытий, полученных лазерной наплавкой. Подобный эффект отмечен многими исследователями [5]. Очевидной является и экстремальность влияния бора на износостойкость. Однако наряду с ожидаемыми установлены факты, требующие более подробного рассмотрения. Это в первую очередь более высокий уровень износостойкости газопламенных покрытий по сравнению с полученными лазерной наплавкой при малых содержаниях бора (рис. 1, а).

Микродюротметрическим анализом установлено, что в доэвтектической области содержания бора эвтектики газопламенных покрытий имеют более высокую микротвердость, чем полученные лазерной наплавкой ($H_{\mu} = 5200 \dots 5600$ МПа и $H_{\mu} = 3400 \dots 4200$ МПа соответственно). Это связано с большей степенью гетерогенности газопламенных эвтектик, возникающей при относительно медленном охлаждении покрытий. В случае лазерной наплавки при малых содержаниях бора значительная часть легирующих элементов находится в твердом растворе, поэтому количество избыточных фаз меньше. Таким образом, гетерогенность газопламенной наплавки в доэвтектическом диапазоне содержания бора (до 2,5 мас. %) выше, следовательно, выше при прочих равных условиях износостойкость при трении скольжения.

Второй характерной особенностью является смещение пика экстремума износостойкости в сторону меньших содержаниях бора при переходе от

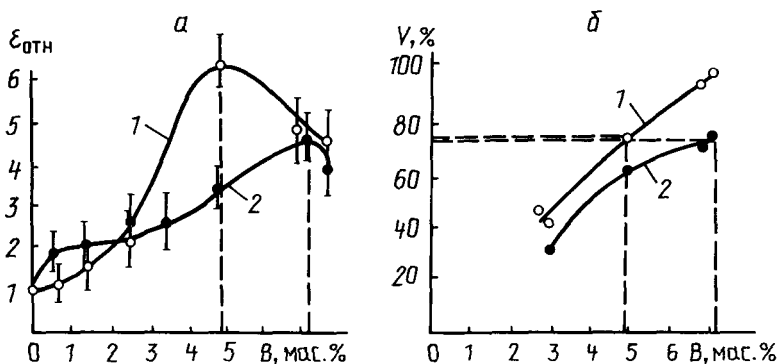


Рис. 1. Влияние содержания бора в ДЛС порошке ПР-сталь 45 на износостойкость при трении скольжения наплавленных покрытий (а) и количество в них избыточных фаз (б): 1 — лазерная наплавка; 2 — газопламенная наплавка

газопламенной к лазерной наплавке. Смещение для покрытий из различных ДЛС порошков колеблется от 1 до 2 % бора. Причины этого в следующем.

Различия микротвердости структурных составляющих анализируемых покрытий в заэвтектоидной зоне незначительны, хотя и заметна тенденция повышения микротвердости эвтектик лазерных покрытий. Отличия обнаружены в количестве избыточных боридных фаз в покрытиях (рис. 1, б). Установленная ранее [4] близкая к линейной зависимость количества боридных фаз от содержания бора в ДЛС порошке справедлива лишь для условий лазерной наплавки. Для газопламенной наплавки она близка к параболической. Следовательно, максимальной износостойкости покрытий, полученных различными методами, соответствует эквивалентное количество избыточных боридных фаз. Определенное влияние оказывает пересыщение твердого раствора при лазерной наплавке, что приводит к повышению хрупкости покрытий при больших содержаниях бора. Все это обуславливает смещение пика экстремума в сторону меньших содержаний бора. Обнаруженные закономерности справедливы для наплавленных покрытий из всех исследованных ДЛС порошков.

Анализ сравнительной износостойкости различных покрытий показал, что наиболее высоким уровнем износостойкости обладают покрытия из начально более мягких сплавов (рис. 2). По степени повышения износостойкости наплавочные материалы располагаются в следующий ряд: ПР-10Р6М5 → ПР-сталь 45 → ПР-С3 → ПЖВ. По абсолютным значениям износостойкости этот ряд будет иметь иной вид: ПЖВ → ПР-С3 → ПР-10Р6М5 → ПР-сталь 45. Таким образом, заэвтекктическая структура с мягкой матрицей более чувствительна к упрочнению избыточными фазами. Потенциальные возможности повышения износостойкости ее велики. Важную роль при изнашивании играет пластичность матричной фазы, которую оценивали по ударной вязкости (рис. 3). Наибольшую ударную вязкость имеет покрытие из ферритного ДЛС порошка ПЖВ. Малое содержание углерода благоприятно сказывается на ударной вязкости последнего. Увеличение содержания углерода приводит к росту твердости наплавленного слоя, однако при этом снижается ударная вязкость. Для покрытий из ДЛС порошка ПР-10Р6М5 характерна наиболее низкая

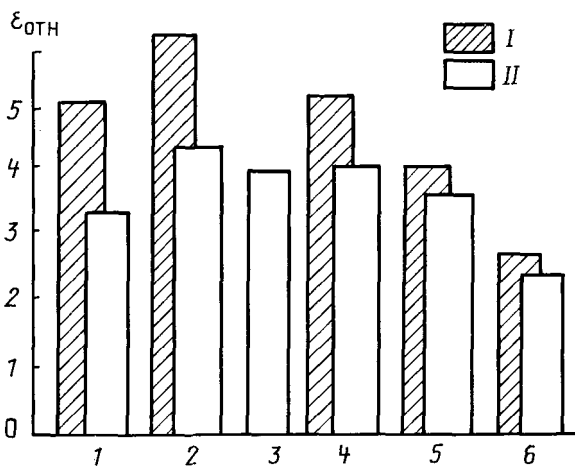


Рис. 2. Относительная износостойкость наплавленных покрытий при трении скольжения: I — ДЛС ПЖВ; 2 — ДЛС ПР-сталь 45; 3 — ДЛС ПР-С3; 4 — ДЛС ПР-10Р6М5; 5 — ПР-Х4Г2Р4С2Ф; 6 — ПГ-10Н-01. Здесь и далее на рис. 3: I — лазерная наплавка; II — газопламенная наплавка

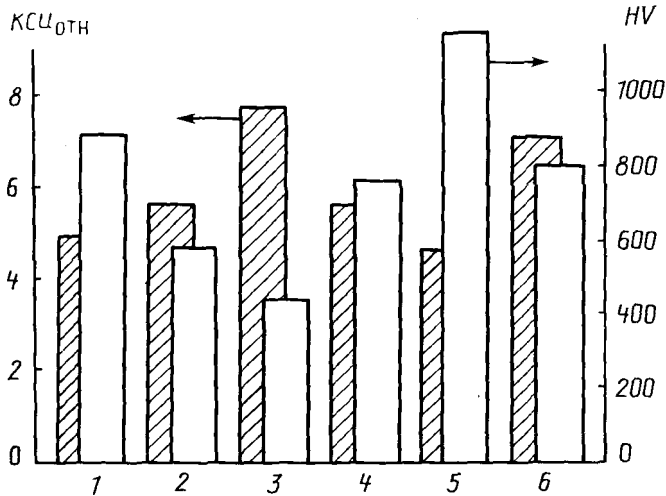


Рис. 3. Относительная ударная вязкость и твердость наплавленных покрытий: 1 — ПР-Х4Г2Р4С2Ф; 2 — ПГ-10Н-01; 3 — ДЛС ПЖВ; 4 — ДЛС ПР-СЗ; 5 — ДЛС ПР-10Р6М5; 6 — ДЛС ПР-сталь 45

ударная вязкость при наибольшей твердости. Это связано с наличием в сплаве мартенситной матрицы. Аналогичная картина у покрытий из порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф. Итак, высокая ударная вязкость ферритных и аустенитных наплавов обеспечивает высокий уровень износостойкости. По указанным причинам наиболее твердый из материалов ПР-10Р6М5 не является самым износостойким в условиях трения скольжения.

С повышением содержания углерода в ДЛС порошке возрастает износостойкость покрытий. Однако для высокоуглеродистых наплавов износостойкость падает. Это связано с охрупчиванием высокоуглеродистых материалов. Экстремальность влияния углерода на износостойкость согласуется с результатами испытаний ударной вязкости наплавов. Оптимальное содержание углерода соответствует эвтектоидной концентрации. В этом случае оптимально сочетаются прочностные и пластические свойства матрицы. С учетом растворения бора в матрице содержание углерода должно быть снижено до 0,4—0,6 мас. % [6]. Подтверждением рассмотренных положений является экстремально высокая износостойкость как газоплазменных, так и лазерных покрытий из разработанного ДЛС порошка на базе ПР-сталь 45.

Таким образом, для лазерной наплавки необходимо снижать содержание бора в ДЛС порошках на 1—2 мас. %. Наиболее высокой износостойкостью при трении скольжения без смазки обладают покрытия со структурой, состоящей из бористого перлита и избыточных боридных фаз. Разработанное покрытие из ДЛС порошка ПР-сталь 45 превосходит по износостойкости при трении скольжения более твердые аналоги на никелевой и железной основах.

Обозначения

$V_{отн}$ — относительная износостойкость при сухом трении скольжения; V — количество избыточных боридных фаз в покрытии; $KCU_{отн}$ — относительная ударная вязкость покрытий; H_u — микротвердость; HV — твердость по Виккерсу.

Summary

Wear-resistance of coating formed from diffusely-alloyed self fluxing (DASF) powder based on iron is investigated under conditions of unlubricated sliding depending on the chemical

composition and process of application. It was found out that coatings from DASF powder based iron 45 possess the highest wear resistance. Difference in wear resistances of gas flame and laser coatings is studied. It is ascertained that for laser facings the quantity of boron in DASF powder must be by 1–2% lower than for gas flame facings.

Литература

1. Голубец В. М., Пашечко М. Н. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe—Mn—C—B. Киев, 1989.
2. Пантелеенко Ф. И., Ворошнин Л. Г., Любецкий С. Н. // Трение и износ. 1991. Т. 12, № 2. С. 310—314.
3. Пантелеенко Ф. И., Любецкий С. Н., Константинов В. М., Лисовский А. Л. // Сборник научни доклади Национален конгрес по металознание и термична обработка. Варна, 1991. С. 353—357.
4. Пантелеенко Ф. И., Любецкий С. Н. // Весці АН БССР. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 1991. № 3. С. 22—27.
5. Одинцов Н. Н., Смирнов В. С., Горный С. Г. и др. Лазерная порошковая наплавка металлов. Л., 1990.
6. Спиридонова И. М. // МиТОМ. 1987. № 9. С. 26—28.

Политехнический институт,
г. Новополоцк

14.06.93