

УДК 621.793

**МИКРОДЮРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
ИЗ ПОРОШКА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА**

*д-р техн. наук, проф. В.К. ЯРОШЕВИЧ, Ю.О. ДЕВОЙНО,
канд.техн. наук М.А. КАРДАПОЛОВА, А.С. ПОДВИГИН, канд.техн. наук А.М. АВСИЕВИЧ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Рассмотрены результаты микродюретрического исследования покрытий из отходов электроэрозионной обработки высокохромистого чугуна марки ИЧХ28Н2, полученные плазменным напылением в струе азота. Показано, что после напыления покрытие неоднородно, микротвердость находится в пределах от 3000 до 18000 МПа. От литых доэвтектических чугунов структура покрытий отличается высокой степенью неоднородности. Показано влияние на микротвердость и структуру предварительного восстановления порошка в азотно-водородной среде при высокой температуре и последующей термообработке напыленных покрытий.

Введение. Минимизация расходов сырья и энергоресурсов при разработке и внедрении технологии восстановления и упрочнения деталей является чрезвычайно важной задачей для машиностроительного комплекса Республики Беларусь. Наиболее мощный резерв развития в данном направлении - использование для нанесения защитных покрытий различного назначения отходов машиностроительного производства.

Предположительно, одним из наиболее эффективных для газотермического напыления материалов являются отходы электроэрозионной обработки отливок из высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2, образующиеся в дисперсном виде в количестве около 60 тонн в год. Из них как минимум 25 % составляют частицы грануляцией менее 300 мкм и 7...8 % - частицы грануляцией 63... 100 мкм. Высокая степень легированности данного материала (28 % хрома, 2,5 % углерода, 2 % никеля, 1 % марганца, остальное железо) позволяет предположить высокие физико-механические и эксплуатационные свойства формируемых покрытий. Имеется опыт нанесения эффективных покрытий на основе указанного материала плазменным напылением и различными видами наплавки [1, 2]. Однако при этом использовался порошок, подвергнутый энергоёмкой химико-термической обработке с дополнительным легированием. Такая подготовка порошка резко улучшает его технологические свойства, способствует увеличению твердости, но, помимо повышения себестоимости, сужает диапазон регулирования свойств покрытий и затрудняет их термообработку концентрированными источниками энергии [3, 4].

Главная проблема при формировании покрытий из отходов электроэрозионной обработки - наличие слоя оксидов на поверхности частиц. Основными путями ее решения при газотермическом напылении покрытий могут быть:

- предварительная восстановительная обработка порошка;
- оптимизация операции напыления, в частности повышение тепловых и скоростных режимов для улучшения физико-химического взаимодействия материалов частицы и основы;
- последующая термообработка покрытий как объёмная, так и с применением концентрированных источников энергии;
- модификация химического состава покрытий на стадиях напыления и термообработки.

При проведении исследований на текущем этапе ставилась задача изучить микротвердость покрытий из высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 для разных вариантов технологии их получения.

Методика проведения исследований. Для напыления покрытий использовались отходы электроэрозионной обработки чугуна, высушенные при температуре 300...350 °С и отсеянные с грануляцией 63... 100 мкм. Часть порошка была подвергнута восстановлению в азотно-водородной атмосфере при высокой температуре. Для плазменного напыления использовалась установка УПУ-ЗД с плазмотроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применялся азот. Расход газа - 3 м³/ч. Напряжение дуги составляло 90... 100 В; сила тока варьировалась в пределах 240...270 А. После напыления покрытия выдерживались в камерной печи типа СНОЛ при температуре 1000 °С в течение 4 часов либо оплаивались непрерывным лазерным излучением при различной плотности мощности в пятне обработки и скорости перемещения детали относительно лазерного луча. Для лазерного оплавления использовалась установка непрерывного действия ЛГН-702, работающая на смеси газов СО₂, Не и N₂ и генерирующая излучение с длиной волны 10,6 мкм мощностью 800 Вт.

Для микродюретрических исследований использовались микрошлифы поверхности покрытия, подвергнутые травлению 4 %-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте на протяжении 2...3 минут.

Непосредственно определение микротвердости производилось при помощи микротвердомера ПМТ-3 по стандартной методике при величине статической нагрузки, равной 0,981 Н (100 г). Согласно методике [5] проводили фазовый микродюротрометрический анализ. Сущность его состоит в многократном (в данном эксперименте - 500 раз) измерении микротвердости, в результате чего на основании табличных данных для отдельных фаз делается вывод об их процентном содержании в покрытии.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты микродюротрометрических исследований покрытий после плазменного напыления и высокотемпературной выдержки в печи представлены на рис. 1 и 2.

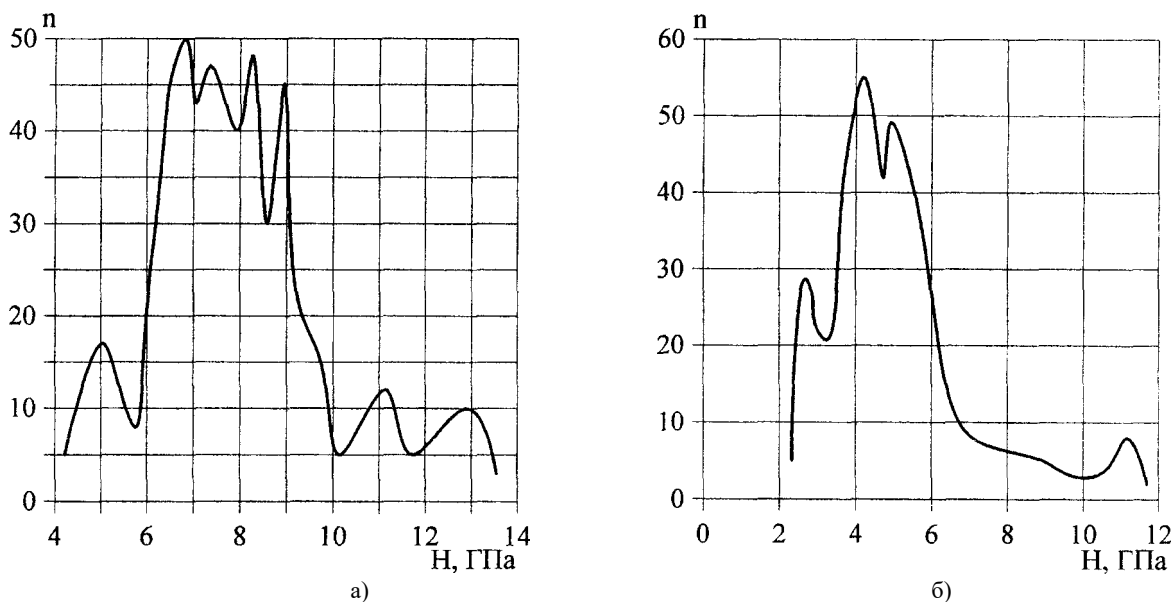


Рис. 1. Распределение микротвердости по поверхности покрытия из дисперсных отходов электроэрозионной обработки высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2:
а - плазменное напыление в струе азота, $I = 250$ А, $U = 100$ В;
б - плазменное напыление + выдержка в печи (4 часа) при 1000 °С

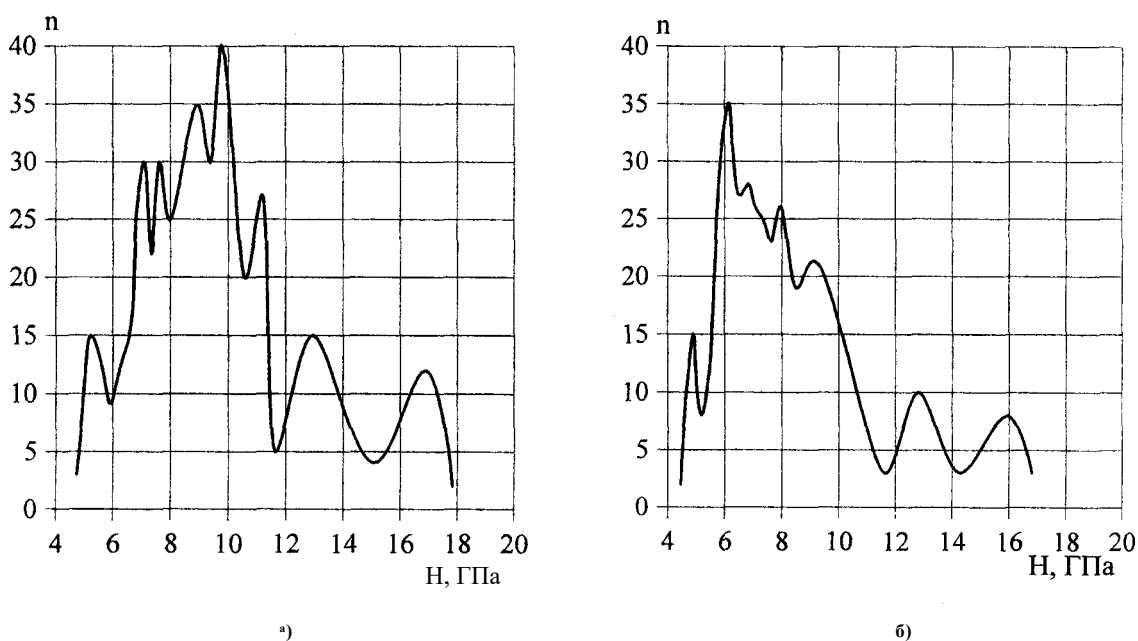


Рис. 2. Распределение микротвердости по поверхности покрытия из восстановленного порошка высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2:
а - плазменное напыление в струе азота, $I = 250$ А, $U = 100$ В;
б - плазменное напыление + выдержка в печи (4 часа) при 1000 °С

Для всех вариантов получения покрытий характерен широкий разброс значений микротвердости. Пикам 11...13 ГПа и 16... 17 ГПа соответствует микротвердость карбидов хрома различного стехиометрического состава [6, 7]. Металлическая матрица включает в себя преимущественно фазы на основе α -железа с микротвердостью от 4 до 9 ГПа, окрашиваемые на травленных участках поверхности в серый цвет различной интенсивности: перлит, троостит, мартенсит, а также нетравящийся метастабильный остаточный аустенит с микротвердостью от 2 ГПа до 5,5 ГПа. В целом структура покрытий соответствует структуре доэвтектических чугунов с более высокой степенью неоднородности и дисперсности.

Для разных вариантов технологии микротвердость отдельных фаз отличается на 1 ...3 ГПа, что можно объяснить разной степенью легированности фаз, наличием мелкодисперсных включений карбидов. В случае когда размер упрочняющей фазы меньше размера индентора микротвердомера, более справедливо говорить о микротвердости не α - или γ -фазы, а участка покрытия с дисперсной композиционной структурой. Средняя микротвердость покрытий находится в пределах 7...8 ГПа.

Микротвердость покрытий после напыления выше, чем подвергнутых последующей термообработке. Для напыленных покрытий характерно наличие более высоких пиков, соответствующих твердости мартенсита и уширению пиков остаточного аустенита. Это объясняется высокими скоростями застывания напыляемых частиц при ударе о поверхность основы, что способствует закалочным процессам, ведет к незавершенности фазовых превращений, в частности к распаду γ -фазы и получению метастабильной дисперсной структуры. После термообработки уменьшается количество нетравящихся участков с высокой микротвердостью, однако площадь их возрастает, хотя и в меньшей степени. Такой характер структуры способствует более быстрому выкрашиванию покрытий в процессе изнашивания.

Для покрытий из порошка, подвергнутого предварительной термообработке в восстановительной атмосфере, характерна более высокая микротвердость, чем для покрытий из невосстановленных отходов.

Сравнивая образцы после напыления, можно заметить у первых большую высоту пиков карбидной фазы и более высокую микротвердость металлической матрицы. После термообработки в покрытиях из невосстановленного порошка более чем в два раза снижается количество карбидов, практически исчезают пики мартенсита, твердость перлита и остаточного аустенита уменьшается примерно на 2 ГПа. Это можно объяснить тем, что в процессе нагрева изменяется стехиометрический состав присутствующих в покрытии оксидов.

Согласно результатам рентгеновского фазового анализа, при напылении окисленных частиц содержание в покрытии оксидов железа Fe_2O_3 и Fe_3O_4 превышает 30 % (Fe_3O_4 - не менее половины).

Выявление оксидов при исследовании микроструктуры затруднительно ввиду их тонкодисперсного состояния. При повышении температуры происходит распад Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , сопровождающийся высвобождением атомов кислорода. За счет этого осуществляется выгорание легирующих элементов, в первую очередь углерода, так как из всех возможных соединений наименьшей теплотой образования характеризуется угарный газ CO [8], способный удаляться через поры. Этот процесс имеет место уже при остывании частиц на поверхности основы при напылении, и этим объясняется меньшая микротвердость покрытий из невосстановленного порошка по сравнению с восстановленным. Уменьшение содержания легирующих элементов приводит к резкому уменьшению количества карбидов, более полному протеканию фазовых превращений, снижению степени метастабильности и микротвердости α - и γ -фаз.

При термообработке лазерным лучом с переплавом на всю глубину покрытия сохраняется структурная неоднородность, дисперсность структуры, высокая степень метастабильности фаз и значительный разброс значений микротвердости.

При увеличении содержания мартенсита средние значения микротвердости возрастают, по сравнению с полученными непосредственно после напыления.

Выводы

Газотермическое напыление дисперсных отходов электроэрозионной обработки высокохромистого чугуна марки ИЧХ28Н2 обеспечивает получение покрытий с благоприятной для обеспечения повышенной износостойкости композиционной дисперсной структурой и высокой микротвердостью.

При напылении окисленных частиц количество высокотвердых включений и микротвердость α - и γ -фаз уменьшаются, что можно объяснить химическими процессами, обусловленными присутствием кислорода.

Термообработка покрытий в печи приводит к уменьшению метастабильности структуры и снижению микротвердости, значительно более резко для покрытий из невосстановленного порошка.

При оплавлении лазерным лучом композиционная дисперсная структура сохраняется и возрастает средняя микротвердость покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авсиевич А.М., Спиридонов Н.В., Константинов В.М. Исследование износостойкости плазменных напыленных покрытий из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков на железной основе в условиях трения скольжения // Трение и износ. -2002. - Т. 23, № 5. - С. 515 - 519.
2. Экономическая эффективность упрочнения наплавкой рабочих органов почвообрабатывающих орудий / В.М. Константинов, Ф.И. Пантелеенко, С.Н. Жабуренко и др. // Сварщик в Беларуси. - 2003. - № 1.-С. 12-13.
3. Влияние диффузионной боридной оболочки на процесс формирования и свойства плазменных напыленных покрытий из порошков на основе железа / А.М. Авсиевич, Н.В. Спиридонов, О.Г. Девойно, и др. //Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Темат. сб. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2003. - С. 41 - 44.
4. Исследование состава, структуры и физико-механических свойств газотермических покрытий из борированного ДЛС-порошка высокохромистого чугуна / А.М. Авсиевич, О.Г. Девойно, Н.В. Спиридонов, С.А. Гришанов // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. тр. / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. - Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2001.-С. 129- 134.
5. А.с. 1668903 СССР, МКИ G 01 N 3/00. Способ оценки фазового состава металлических и металлоподобных сплавов / О.Г. Девойно, М.А. Кардаполова, Г.Г. Панич. - № 4698464/28; Заявл. 31.05.89; Оpubл. 07.08.91, Бюл. № 29 // Открытия. Изобретения. - 1991. - № 29. - 2 с.
6. Краткая химическая энциклопедия: В 5 т. / Ред. кол. И.Л. Кнулянец и др. - М.: Советская энциклопедия, 1963.
7. Композиционные покрытия на основе чугуновых порошков / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьянц, С.А. Юдицкий, А.В. Шевченко // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. тр. / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. - Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2001. - С. 72 - 76.
8. Физико-химические свойства окислов: Справочник / Под ред. Г.В. Самсонова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1978. -472 с.