

Девойно Ю.О., Авсиевич А.М., Ярошевич В.К., Кардаполова М.А.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ-УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Эффективность ремонта изношенных деталей определяется как физико-механическими и эксплуатационными свойствами восстановленных поверхностей, так и экономическими критериями. При создании новых технологий восстановления одним из путей снижения затрат на восстановление является применение недорогих материалов отечественного производства, а зачастую – использование в качестве сырья отходов металлургических, машиностроительных и других производств.

Большой интерес с экономических и технологических позиций, как материал для восстановления изношенных деталей, представляет порошок высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2. Этот высоколегированный материал (28 % Cr, 2,5 % C, 2 % Ni, 1 % Mn, остальное Fe) образуется в дисперсном виде в результате электроэрозионной обработки в количестве порядка 60 тонн в год. Из них значительная часть имеет грануляцию ниже 300 мкм (рис. 1) и практически не поддается утилизации.

Однако, как известно, для нанесения покрытий газотермическим напылением требуется материал именно с такими размерами частиц (40-300 мкм), при этом дисперсность порошка должна быть в узких пределах с разницей размеров не более 50 мкм [1]. Имеющийся опыт нанесения газотермических покрытий из порошка ИЧХ28Н2, подвергнутого поверхностному диффузионному насыщению бором, свидетельствует об ограниченной возможности применения такой технологии в частности из-за невозможности проводить эффективную термообработку покрытий концентрированными источниками энергии. [2,3].

Поэтому целью настоящей работы является изучение возможности применения порошка ИЧХ28Н2 для восстановления изношенных деталей методами плазменного и газопламенного напыления.

Газопламенное напыление производилось на установке ТРУ-БПИ. В качестве горючего газа применялась пропанобутановая смесь, в качестве транспортирующего – воздух. Расход пропан-бутана составлял 1 м<sup>3</sup>/ч, расход кислорода 3 м<sup>3</sup>/ч, расход воздуха 3 м<sup>3</sup>/ч.

Для плазменного напыления использовалась установка УПУ-3Д с плазмотроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа

применялся азот. Расход газа – 3 м<sup>3</sup>/ч. Напряжение дуги 85...90 В, сила тока варьировалась в пределах 170...400 А.

В результате предварительных исследований было установлено, что газопламенное напыление с использованием пропан-бутана не обеспечивает достаточного прогрева частиц порошка ИЧХ28Н2. При плазменном напылении получали покрытия с удовлетворительным качеством.

Таблица 1

Зависимость коэффициента использования порошка от грануляции

Грануляция, мкм	Коэффициент использования порошка
40 ... 80	0,74
80 ... 160	0,52
160 ... 200	0,37

Исследование коэффициента использования порошка различной грануляции, выполненное по стандартной методике (табл.1), показало, что наиболее эффективным является использование для напыления порошка грануляцией менее 80 мкм. В целом невысокий уровень коэффициента использования материала определяется низкой адгезионно-когезионной способностью частиц порошка, что в свою очередь можно объяснить высоким содержанием окислов в поверхностном слое частиц.



Рис. 1. Результаты гранулометрического анализа:

1 – 0...60 мкм; 2 – 60...100 мкм; 3 – 100...160 мкм;  
4 – 160...200 мкм; 5 – 200...300 мкм; 6 – более 300 мкм

Исследование структуры плазменного покрытия из высокохромистого чугуна (рис. 2) показало, что в основном оно состоит из сильно деформирован-

ных слабо травящихся частиц. Такой характер травления свидетельствует о метастабильном состоянии металлической матрицы и высокой степени насыщенности покрытия легирующими элементами. Характерным является его высокая пористость.

Попытки провести механическую обработку показали, что напыленный слой характеризуется склонностью к растрескиванию ввиду низкой адгезии.

Одним из путей повышения качества поверхности связан с использованием локальных источников нагрева, таких как лазерный луч. Лазерная обработка имеет ряд преимуществ [4], среди которых возможность получения в зоне воздействия высоких плотностей мощности, недостижимых другими методами, достаточно легкая управляемость лазерным лучом, экологическая чистота.

Для реализации процессов лазерного оплавления использовалась технологическая лазерная установка на базе лазера непрерывного действия ЛГН-702, работающую на смеси газов  $\text{CO}_2$ , He и  $\text{N}_2$  и генерирующую излучение с длиной волны 10,6 мкм мощностью 800 Вт, а также более современная лазерная установка Комета-2 мощностью 2 кВт. Режимы лазерной обработки составляли: плотность мощности в пятне обработки 2,75-3,2 кВт/см<sup>2</sup>, скорость перемещения детали относительно лазерного луча 13,8-15,0 мм/с.

В результате лазерного оплавления структура покрытия (рис. 3) значительно измельчилась. Сформировались зона лазерного переплава и зона термического влияния. Зона лазерного переплава имеет характерную для лазерной закалки из жидкого состояния литую глобулярно-дендритную структуру, представляющую собой легированные мелкодисперсные дендриты, между ветвями которых расположены включения упрочняющей фазы (преимущественно карбидов хрома).

Рентгеноструктурный анализ покрытий после плазменного напыления показал наличие следующих фаз: Fe- $\gamma$  (аустенит), Fe- $\alpha$  (мартенсит), карбиды хрома, следы цементита, а также окислы. После лазерной обработки количественное соотношение фаз изменилось, но качественно фазовый состав остался прежним. Произошло значительное снижение количества окислов, увеличение доли карбидной упрочняющей фазы, а также переход части аустенита в мартенсит.

Исследование микротвердости оплавленных лазером покрытий показало



Рис. 2. Структура покрытия из высокопрочного чугуна после плазменного напыления ( $\times 200$ )

высокую степень зависимости данного параметра от режимов обработки и, следовательно, возможность управления комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий. С увеличением плотности мощности лазерного излучения возрастают абсолютные значения микротвердости в поверхностном слое, также увеличивается градиент свойств по толщине покрытия.

Результаты изучения износостойкости оплавленных лазером покрытий из

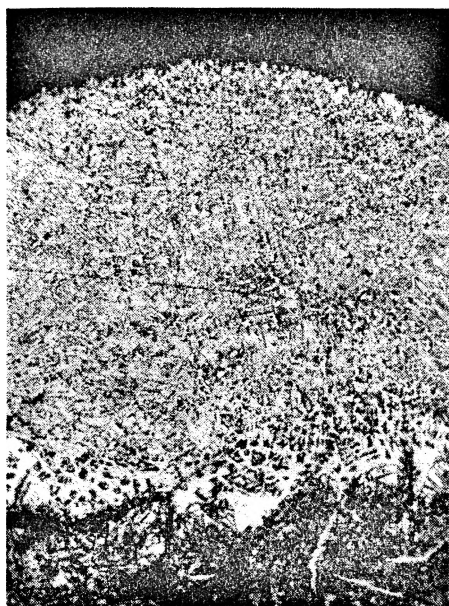


Рис. 3. Структура поперечного среза покрытия из высокопрочного чугуна после лазерного оплавления ( $\times 200$ )

порошка высокохромистого чугуна указывают на их высокие физико-механические и эксплуатационные свойства. Износостойкость покрытий в условиях трения со смазочным материалом, без смазочного материала, со смазочным материалом с присутствием абразива в 2,5...3,5 раза превышает износостойкость образцов из стали 45, закаленных до 48...50 HRC<sub>3</sub>.

Полученные в ходе предварительных исследований данные позволяют считать порошок высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 перспективным материалом для восстановления изношенных деталей газотермическим напылением, так как он позволяет получать покрытия с высоким управляемым уровнем свойств при низкой себестоимости. При этом требуемое качество покрытий обеспечивается последующей лазерной обработкой с переплавом нанесенного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.В. Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. - М.: Metallurgy, 1992. - 432 с.
2. 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, А.С. Володько, Л.И. Пилецкая // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тематический сборник / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Мн.: УП «Технопринт», Новополоцк: ПГУ, 2003. - С. 41 - 44.
3. 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. тру-

дов / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. – Мн.: Технопринт, ПГУ, 2001. – С.129 – 134. 4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

УДК 621.923.75

Романюк С.И.

## ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДЫ ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Химико-механическое полирование (ХМП, или chemical-mechanical polishing, CMP) является одной из отделочных операций, обеспечивающих высокую плоскостность и практически идеальную зеркальную поверхность. ХМП в последнее время широко применяется в производстве подложек интегральных микросхем. Однако область применения этого метода обработки может быть значительно шире благодаря универсальности, эффективности и прежде всего простоте реализации.

ХМП представляет из себя метод обработки, при котором используются абразиво-содержащие химически активные суспензии, наносимые на специальные полировальники. Схема обработки выглядит следующим образом (рис.1).

На вращающемся рабочем столе крепится полировальник. На его рабочую поверхность в процессе обработки подается суспензия таким образом, чтобы на поверхности инструмента стабильно сохранялся слой суспензии. Обрабатываемая деталь крепится на

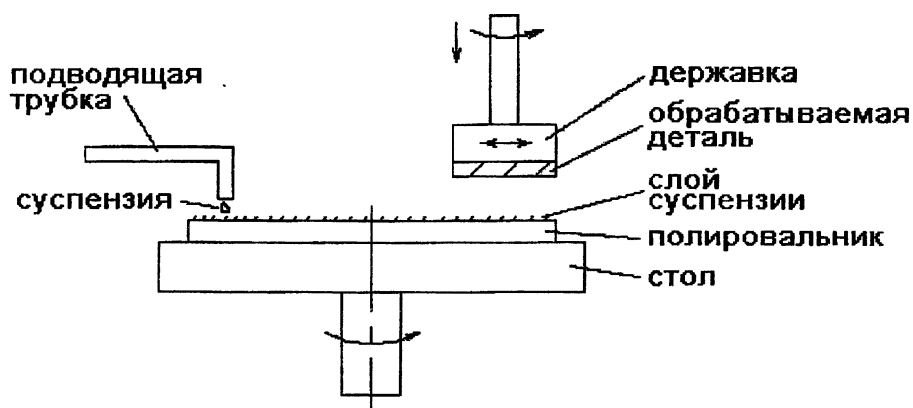


Рис.1. Схема ХМП

вращающейся державке и приводится в соприкосновение с полировальником, с обеспечением некоторого усилия прижима. Кроме вращения державка совершает перемещения вдоль поверхности полировальника [1]. Полирующий эффект возникает при совместном действии трех факторов: относительного дви-