

УДК 621.793.74:621.791.927.55

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, УПРОЧНЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ
НАПЫЛЕНИЕМ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

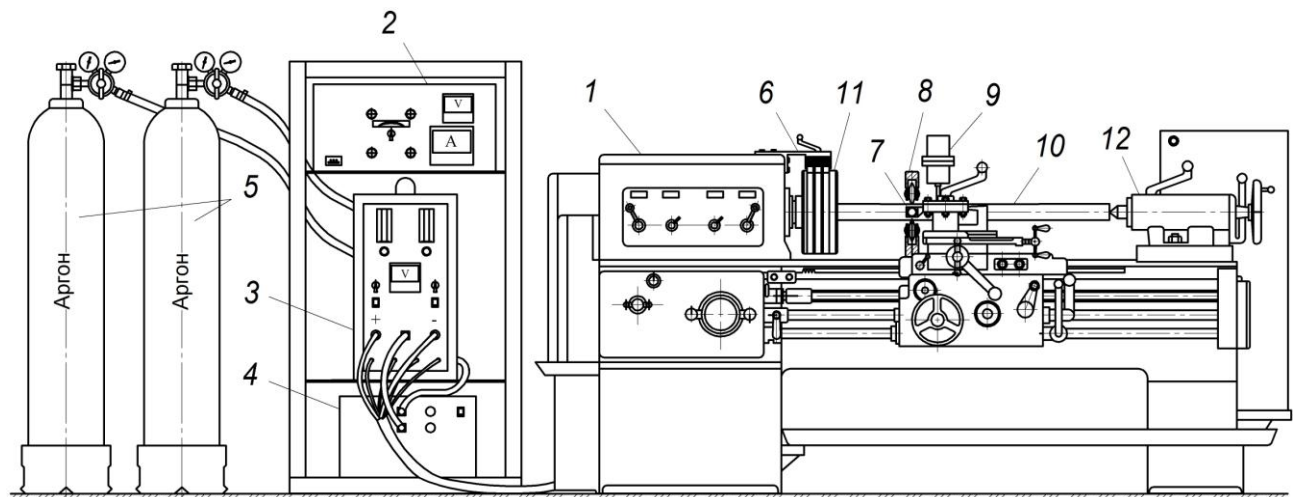
В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов,

А. С. Пустовалов (ВГЛТА)

Значительная часть современной техники эксплуатируется в экстремальных условиях воздействия высоких температур, скоростей, давлений, агрессивных сред и интенсивного износа элементов конструкций. При этом возникает необходимость не просто улучшить служебные характеристики существующих конструкционных материалов, потенциальный ресурс которых уже во многом исчерпан, а принципиально изменить подход к формированию их структуры и свойств. Это возможно, прежде всего, за счет использования нанотехнологий, обеспечивающих получение уникальных свойств материалов на микро- и суб-микроуровне. Весьма перспективными представляются комбинированные методы обработки, облегчающие формирование нанопокровов на деталях ответственных изделий. Привлекательность таких технологий заключается в том, что они уже сегодня могут быть технически реализованы на существующем оборудовании. Одним из таких способов является способ плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой (ПН + ЭМО) [1-3].

Комбинированный процесс получения наноструктурированных покрытий (ПН + ЭМО) осуществлялся на оборудовании, схема которого приведена на рисунке 1.

С помощью процесса ПН + ЭМО обрабатывали партию цилиндрических образцов из стали 45 ГОСТ 1050-74, твердостью НВ 225-240, шероховатостью Rz 20, диаметром 40 мм и длиной 150 мм. В качестве напыляемого материала использовали порошковые покрытия ПГСР-4 (основа – Ni, Cr 25 %, Si 4,2 %, В 4 % и др.) и ПГС-27 (основа – Fe, Cr 25 %, С 4,4 %, Mn 1,3 %, Ni 1,7 %, Si 1,7 % и др.). Покрытия наносили слоями толщиной каждого слоя 0,15-0,2 мм до общей толщины 1,0-1,1 мм. Плазменное напыление осуществляли на режимах: мощность микроплазматрона – 1,5 кВт, дистанция напыления – 20 мм, расход плазмообразующего аргона – 2,5 л/мин, расход напыляемого порошка – 25 г/ч, скорость вращения образцов – 0,03 м/с, продольная подача плазматрона – 0,1 мм/об.



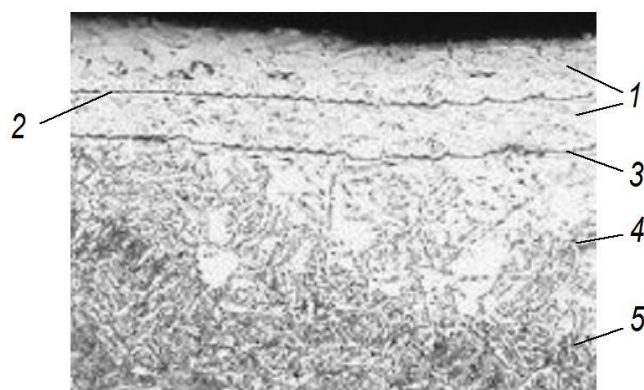
1 – токарный станок 1К620; 2 – установка для электромеханической обработки деталей; 3 – установка для микроплазменного напыления; 4 – блок охлаждения; 5 – баллоны с аргоном; 6 – электроконтактное устройство щеточного типа; 7 – плазматрон; 8 – трех роликовое инструментальное приспособление; 9 – порошковый питатель; 10 – деталь; 11 – патрон; 12 – задняя бабка

Рисунок 1 – Схема оборудования для нанесения покрытий плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой

В процессе напыления покрытия осуществляли его электромеханическую обработку обкаткой роликом из твердого сплава ВК8 с радиусами рабочего профиля $r = 36$ и $R = 4$ мм. Усилие обкатки обеспечивали равным 1 кН. Скорость обкатки и продольную подачу обеспечивали такими же, как и для плазменного напыления (соответственно 0,03 м/с и 0,1 мм/об). Охлаждение зоны обкатки осуществляли 10 % раствором эмульсола Экол-1 (моющее средство «Эковеста» ТУ 301-04-022-92) с расходом 0,5 л/мин, а смыв его остатков – струей воды высокого давления с параметрами: расход 4,5 л/мин, давление перед форсункой 9 МПа. Плотность электрического тока электромеханической обработки обеспечивали равной $350 \dots 400 \text{ А/мм}^2$ при напряжении 3 ... 5 В.

Результаты обработки оценивали путем металлографического, рентгеноструктурного анализа, измерением прочности соединения покрытия с основой, измерением микротвердости на поверхности и по толщине покрытия, измерением пористости покрытия, испытанием покрытия на износ.

Микроструктура покрытия, полученная в процессе ПН + ЭМО, представлена на рисунке 2.



1 – покрытие ПГСР-4; 2 – граница между слоями; 3 – граница между покрытием и подложкой; 4 – белый слой; 5 – подложка (Сталь 45)

Рисунок 2 – Микроструктура покрытия полученного в процессе ПН + ЭМО

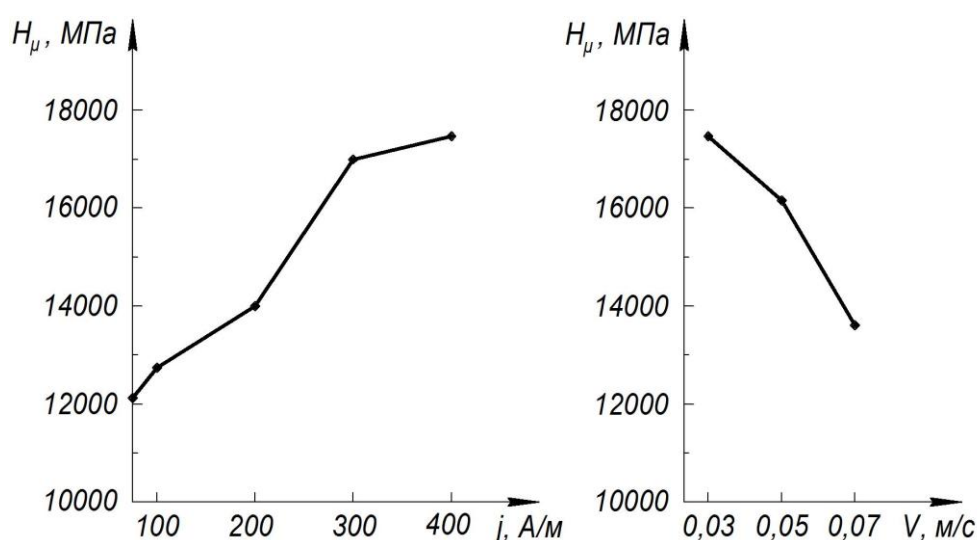
В процессе ПН + ЭМО происходит сглаживание, уплотнение покрытия, сваривание составляющих его частиц до монолитного состояния с формированием резкой границы между обработанными участками поверхности. В результате высокотемпературного нагрева в процессе ПН + ЭМО происходит упрочнение границы раздела между слоями покрытиями, покрытием и подложкой и поверхностного слоя самой подложки. В зоне подложки образуется белый слой, формируемый в результате высокоскоростной закалки. Структура этого слоя представляет собой мелкодисперсный мартенсит, обладающий высокой износостойкостью.

В таблице 1 приведены средние значения $H\mu$ микротвердости покрытия без ЭМО и с ЭМО, величины относительного изменения, среднеквадратического отклонения s и коэффициенты вариации k , позволяющие оценить степень неоднородности и разброс значений микротвердости относительно среднего значения.

Таблица 1 – Сравнение микротвердости покрытий ПГСР-4 и ПГС-27, полученных с обработкой ЭМО и без нее

№ п/п	Материал покрытия	Микротвердость $H\mu_{ср}$, МПа			Отклонение $S_{ск}$, МПа		Коэффициент вариации k	
		до обработки	после обработки	прирост, %	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки
1	ПГСР-4	12192	17486	43,4	2045	2958	0,168	0,169
2	ПГС-27	11242	13226	17,7	2519	1844	0,224	0,139

Влияние основных режимов ЭМО (плотности тока j и скорости обработки V) на характеристики микротвердости анализировались на покрытиях из материала марки ПГСР-4 и ПГС-27. На (рис. 3, а) показана зависимость средней микротвердости H_{μ} покрытия из материала марки ПГСР-4 от плотности тока j ($V = 0,03$ м/с), полученная в результате упрочнения покрытия ЭМО. Увеличение плотности тока с 0 до 400 А/мм^2 приводит к росту микротвердости, что объясняется повышением температуры в зоне обработки и, как следствие, увеличением вероятности сваривания напыленных частиц покрытия между собой при ЭМО.



а – изменения микротвердости покрытий в зависимости от плотности тока j ; б – изменение микротвердости в зависимости от скорости обработки V

Рисунок 3 – Зависимости микротвердости H_{μ} покрытий, полученных комбинированной обработкой ПН + ЭМО, от параметров

Увеличение скорости обработки V , то есть скорости движения инструмента относительно обрабатываемой поверхности, сопровождается сокращением времени высокотемпературного воздействия на материал, что приводит к снижению прочности сцепления по границам соседних напыленных частиц. В результате при повышении скорости V с $0,03$ до $0,07$ м/с (при $j = 400 \text{ А/мм}^2$) микротвердость покрытия снижается (рис. 3, б).

Результаты исследований показали, что износостойкость образцов, обрабатываемых технологией ПН+ЭМО, возрастает в 2-2,5 раза, микротвердость увеличивается на 18-43 %, за счет повышения их плотности и сваривания по-

рошка, снижается пористость на 19 ... 20 % (поры практически отсутствуют в покрытии и на границе раздела с поверхностью детали), что является подтверждением повышения когезионной и адгезионной прочности покрытия.

Макроструктура поверхности покрытия (рис. 4), полученного ПН + ЭМО имеет характерный рельеф, обусловленный воздействием ролика и представляющий собой параллельные гребни между проходами, которые формируют вертикальные стенки канавок.



Рисунок 4 – Макроструктура покрытия полученного ПН+ЭМО из материала ПГСР-4 при скорости вращения образца 0,03 м/с и продольной подачи плазматрона 0,1 мм/об.

Исследование процесса ПН+ЭМО для самофлюсующихся порошков (ПГСР-4, ПГС27) показали его преимущества:

- по сравнению с неупрочненными покрытиями возрастает микротвердость на 18-43 %, снижается пористость покрытия практически до отсутствия пор, повышается когезионная и адгезионная прочность для широкого диапазона толщин покрытий до уровня наплавленных покрытий при увеличении сопротивления усталости деталей;

- по сравнению с наплавкой повышается экономичность использования наносимого материала за счет уменьшения припуска на последующую механическую обработку покрытия, увеличивается сопротивление усталости деталей;

- по сравнению с термо- и электромеханической обработкой покрытия после его напыления повышается общая производительность процессов.

Библиографический список

1 Кадырметов, А. М. Перспективы упрочнения покрытий методом плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой / А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, В. Н. Бухтояров и др. // Станочный парк. – 2012. – № 8 (86). – С. 23-25.

2 Посметьев, В. И. Управление качеством плазменных покрытий деталей машин на основе модуляции параметров плазмотрона и электромеханической обработки / В. И. Посметьев, А. М. Кадырметов, В. О. Никонов, А. Ф. Мальцев // Мир транспорта и технологических машин. – Орел : Госуниверситет – УНПК, 2011. – №4(35). – С. 23-31.

3 Никонов, В. О. Разработка комбинированного способа нанесения и упрочнения покрытий / Инновационные разработки молодых ученых Воронежской области на службу региона : сборник докладов Региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Воронеж, 16-17 апреля 2012 г. / Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере ; Прав. Вор. обл. ; ВИТЦ. – Воронеж, 2012. – С. 148-149.