

200 с; 5. Справочник металлиста. Т.1/Под ред. С.А.Чернавского.—М., 1976.—768 с; 6. Гудремон Э. Специальные стали. В 2 т.—М., 1966.—736 с; 7. Патон Б.Е. Современные направления повышения прочности и ресурса сварных конструкций// Автоматическая сварка.—№9, 10.—2000.— С. 3-9.

УДК 621.791.92

А.П. Ракомсин, Л.М. Кожуро, М.И. Сидоренко

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ОБРАБОТКОЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

*РУП Минский автомобильный завод,
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Беларусь*

Для восстановления и упрочнения деталей машин применяют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать рабочие поверхности с требуемыми эксплуатационными свойствами. Каждый из известных способов нанесения покрытий в силу своих особенностей имеет рациональную область применения и не всегда решает задачи вызванные необходимостью восстановления и повышения долговечности деталей машин. Поэтому, наряду с совершенствованием известных способов нанесения покрытий, необходима разработка новых, дополняющих уже известные и расширяющих их технологические возможности. При этом актуальным является совмещение способов восстановления и упрочнения изделий, использующих комбинированное воздействие потоков энергии различного вида на обрабатываемую поверхность. Это позволяет получать качественно новые эксплуатационные характеристики поверхностей деталей, а также повышать производительность, снижать энергоёмкость и себестоимость процессов.

Необходимо отметить, что многие детали машин, поступающие на восстановление, имеют значительный запас остаточной долговечности, использование которой составляет основной источник экономической эффективности ремонта машин. Так Япония удовлетворяет потребность в запасных деталях на 40% путем восстановления изношенных, США, Германия, Австрия - на 30 -35%, а СССР в 1990 году удовлетворял эту потребность на 18% [1].

В последние годы широко исследуется и получает практическое применение электромагнитная наплавка (ЭМН), использующая энергию магнитного и электрического полей. Поскольку связкой порошка при ЭМН служит энергия магнитного поля, а расплавление – электрического, то появляется возможность существенным образом изменить условия восстановления и упрочнения деталей машин при ЭМН с поверхностным пластическим деформированием, т.е. обработкой в комбинированных физических полях [2].

Разработанный метод электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием позволил увеличить в 1,3... 1,4 раза ресурс деталей типа тел вращения, работающих в условиях высоких нагрузок и интенсивного абразивного изнашивания. Такой результат получен за счет того, что новый метод упрочнения деталей сочетает нанесение, термообработку и упрочняющее деформирование

покрытия, сокращая приработку поверхности за счет формирования структуры поверхностного слоя. Эксплуатационные характеристики комбинированного метода определяются электромагнитными и деформационными воздействиями на упрочняемую поверхность (рис. 1). Электромагнитная наплавка с ППД, к достоинствам которой следует отнести высокую прочность соединения наплавляемого покрытия с основой, повышенную износостойкость и минимальное тепловыделение, исключая термическое деформирование обрабатываемых деталей, эффективна при упрочнении поверхностей трения и посадочных поверхностей под подшипники и зубчатые колеса.



Рис.1. Структура метода электромагнитной наплавки с ППД

Использование тепла в процессе ЭМН для упрочнения ППД позволяет совместить операции наплавки и термомодеформационного упрочнения и создать условия для комбинированного деформирования параметров качества поверхностного слоя, наиболее полно с точки зрения эксплуатационной наследственности параметров процесса, отвечающих служебному назначению деталей машин.

Известно [3], что наплавленный металл отличается неоднородностью структуры и химического состава, наличием сварочных дефектов, колебаниями твердости, внутренней напряженностью и другими дефектами, поэтому представляет интерес сравнительная оценка эксплуатационных свойств покрытий, полученных ЭМН и ЭМН с ППД порошков из быстрорежущих сталей по критериям износостойкости и усталостной прочности. Порошки быстрорежущих сталей широко используются для нанесения покрытий другими методами. Они стандартизированы, имеют постоянный химический и гранулометрический состав, сохраняют высокую твердость и износостойкость в сформированных покрытиях до температур 600 – 620 °С, что очень важно в связи с непостоянством температурного режима на поверхности сопряженных и трущихся деталей.

Износостойкость покрытий, полученных ЭМН и ЭМН с ППД, изучалась в условиях гидроабразивного изнашивания при трении скольжения на машине для испытания материалов на трение и износ 2070 СМТ-1 по схеме "вал - колодка" линейным методом.

Покрытия толщиной 1 мм на диаметр наносили на образцы из стали 45 с наружным диаметром 40 мм, внутренним 16 мм и высотой 12 мм, подвергнутых нормализации. Колодка из чугуна ХТВ имела высоту 10 мм, что позволило сохранять измерительную базу, так как по краям образца оставались цилиндрические ленточки. Измерение образцов производили в двух взаимоперпендикулярных плоскостях по двум сечениям, используя оптический длинномер ИЗВ-1, точность измерения которого составляла 0,001 мм. Для ускорения процесса изнашивания использовали масляно-абразивную смесь (масло индустриальное 20, содержащее 2% карбида бора зернистостью 4 - 5), которую в количестве 40 мл заливают в камеру для масла. При этом для каждой партии испытываемых образцов использовали свежую порцию смеси.

Абразивные частицы во взвешенном состоянии в период испытаний подерживались лопастями крыльчатки, посаженной на одном валу с образцом, а стабильность температурного режима смеси - пропусканием воды через двойное дно камеры.

Образцы после нанесения покрытия подвергались механической обработке. Затем они прирабатывались с колодкой. Окончание приработки определяли по стабилизации момента трения пары, регистрируемого аппаратурой машины.

Режим испытаний соответствовал условиям работы деталей автотракторных и сельскохозяйственных машин, для которых характерна скорость скольжения до 2,5 м/с и удельная нагрузка 1,5 - 3,0 МПа. Испытывали партии по пять образцов.

Результаты испытаний сопоставляли с эталоном (сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2 - 1,6 мм до 52 - 54 HRC). Кроме того, учитывали, что абразивное изнашивание имеет преимущественно механический характер разрушения поверхности. Интенсивность его, как известно [4], в наибольшей степени зависит от твердости сопрягаемых материалов, удельной нагрузки и скорости перемещения.

Исследования эксплуатационных свойств покрытий проводили на образцах, наплавленных и обработанных при оптимальных условиях и режимах процессов, установленных в работе [2] (образцы после ЭМН и ЭМН с ППД обрабатывали

абразивным шлифованием и магнитно-абразивным полированием для получения шероховатости поверхности $Ra=0,8 - 0,6$ мкм).

Триботехнические характеристики покрытий приведены в таблице, в которой в числителе представлены результаты покрытий, полученных ЭМН, а в знаменателе - ЭМН с ППД. Их анализ показывает, что решающее влияние на износостойкость покрытий оказывает химический и фазовый составы покрытий и метод их нанесения. Так покрытия, полученные ЭМН с ППД, для всех исследуемых материалов порошков имеют более высокую износостойкость по сравнению с покрытиями, полученными ЭМН. Обусловлено это тем, что ППД повышает плотность и однородность покрытия, делая ее более дисперсной; приводит к изменению характера распределения упрочненного слоя, в котором происходят превращения, соответствующие полной закалке. Поэтому повышается твердость покрытий и соответственно сопротивление их механическому разрушению. Вместе с тем момент трения и коэффициент трения для методов нанесения покрытий не имеют существенных различий, а для порошков они значительны.

Таблица

Триботехнические характеристики покрытий,
полученных ЭМН и ЭМН с ППД

Материал порошка	Параметр				
	Интенсивность изнашивания, мкм/км	Момент трения, нм		Коэффициент трения	
		с маслом И-20	всухую	с маслом И-20	всухую
Р6М5	2,5/1,9	0,79/0,74	1,11/1,05	0,13/0,12	0,18/0,16
Р6М5Ф3	2,2/1,7	0,73/0,69	0,87/0,82	0,11/0,10	0,15/0,14
Р6М5К5	1,9/1,4	0,72/0,68	0,82/0,79	0,11/0,10	0,15/0,14
Сталь 45 (эталон)	4,1	0,84	1,26	0,12	0,19

Видно, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из порошка Р6М5К5. Износостойкость всех покрытий значительно выше износостойкости эталона (сталь 45). В порядке убывания износостойкости покрытий последние можно как для ЭМН, так и для ЭМН с ППД расположить в следующей последовательности :

$$P6M5K5 \rightarrow P6M5\Phi3 \rightarrow P6M5.$$

Сопоставление дисперсий испытаний износостойкости покрытий показало, что разброс экспериментальных данных не превышал 17% для ЭМН и 12% для ЭМН с ППД. Это свидетельствует о стабильности наплавки в электромагнитном поле.

Известно, что основная причина разрушения деталей, работающих в условиях циклического нагружения, - усталость металла. Усталостное разрушение начинается с поверхностного слоя, от физико-механических свойств которого зависит в значительной степени предел выносливости.

Поэтому в работе провели исследования усталостной прочности деталей, упрочненных ЭМН с ППД, т.е. исследовалось влияние на усталостную прочность наплавленных поверхностей только от метода наплавки и химического состава порошка.

Исследования проводили на образцах круглого сечения из нормализованной стали 45, имеющих соотношение $l/d=15$, где $l=150$ мм - длина и $d=10$ мм - диаметр. В качестве порошков применили Р6М5К5 и Р6М5Ф3. Образцы после наплавки

подвергались абразивному шлифованию, обеспечивая шероховатость поверхности $Ra=0,8...0,6$ мкм. Испытания образцов на усталостную прочность проводили на машине типа У-20М в условиях действия знакопеременной нагрузки с постоянной амплитудой.

Кривые выносливости строили в двойной логарифмической системе координат, благодаря чему функциональная зависимость напряжений от числа циклов $a=f(N)$ представлена уравнением:

$$mlg\sigma + \ln N = \lg C$$

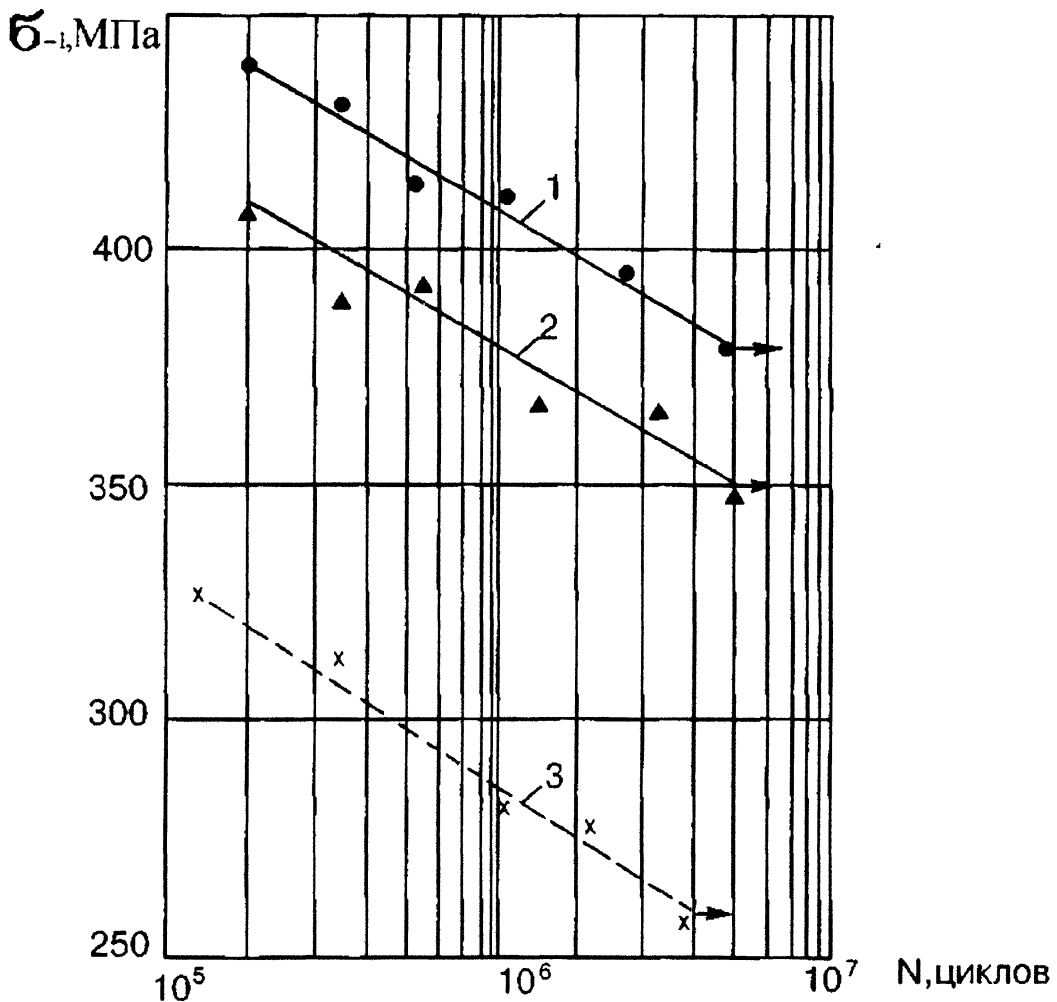


Рис. 2. Влияние химического состава порошка на усталостную прочность упрочненных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием образцов: 1 - Р6М5К5; 2 - Р6М5Ф3; 3 - сталь 45

где a - напряжение, МПа; m - параметр кривой, $m=10$; N - число циклов нагружения; C - коэффициент.

Следовательно, криволинейная зависимость $a=f(N)$ в логарифмических координатах была приведена к уравнению прямой, что позволило применять метод линейной корреляции.

Анализ полученных результатов испытаний (рис.2) показывает, что при циклическом нагружении образцы покрытия имеют различную способность к

сопротивлению усталостному разрушению. Это может быть объяснено неодинаковой чувствительностью материалов покрытий к дислокационному скольжению, то есть к процессам, влияющим на усталостное разрушение. Видно, что усталостная прочность наплавленных поверхностей порошками Р6М5К5 и Р6М5Ф3 выше эталона соответственно в 1,45 и 1,34 раза. Обусловлено это тем, что ЭМН с ППД формирует в системе покрытие - основа остаточные напряжения сжатия, увеличивает зону термического влияния [2, 5]. Кроме того, происходит выделение дисперсных карбидов и интерметаллидов, блокирующих сдвиги по плоскости скольжения. Это обеспечивает повышение поверхностной прочности, особенно проявляющейся в покрытиях со следующими структурами: мартенсит, легированные дисперсные карбиды и интерметаллиды [5]. Кроме того, ЭМН с ППД уменьшает пористость [2], что также повышает усталостную прочность наплавленных поверхностей.

Таким образом, применение наплавки в электромагнитном поле из быстрорежущих сталей для восстановления и упрочнения деталей машин, работающих в условиях повышенного абразивного изнашивания и циклического нагружения, позволяет технологическим методам увеличить их износостойкость до 2,5 раза и усталостную прочность до 1,5 раза по сравнению со сталью 45, закаленной с нагрева ТВЧ на глубину 1,2 - 1,6 мм до 52 - 54 HRC.

Учитывая, что свыше 80% отказов машин и механизмов обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, в которых изнашивание играет доминирующую роль и что около 90% деталей имеют износ не более 0,6 мм, где цилиндрические поверхности (валов, осей, штоков, пальцев и др.) составляют 52% [6, 7], то для их восстановления и упрочнения можно рекомендовать эффективный процесс ЭМН с ППД легированных порошков на железной основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.П. Сбережение остаточного ресурса деталей и сопряжений при их восстановлении// Агропанорама. – 2000 – N 2. – С. 15 – 18;
2. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Мн: УП "Технопринт", 2000. – 268 с;
3. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с;
4. Филонов И.П., Кожуро Л.М., Фельдштейн Е.Э. Износостойкость покрытий, полученных электромагнитной наплавкой/ XXIII jesienna szkola tribologiczna. – Zielona Gora – Lubiatow, 21-24 wrzesien, 1999. – S. 35 – 38;
5. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мн: Изд-во ФТИ НАН Беларуси, 1997. – 416 с;
6. Кершенбаум В.Я. Механическое деформирование поверхностей трения. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с;
7. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. – М.: Колос, 1981. – 351 с.