

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Л.М. КОЖУРО, д.т.н. (БАТУ)

Научно-технический прогресс во всех отраслях экономики определяется техническим уровнем машиностроения. В Республике Беларусь оно по праву занимает одно из ведущих мест. Приоритетными направлениями являются автомобиле- и тракторостроение, производство сельскохозяйственных машин, станков и инструментов, разработка новых материалов и технологий их обработки. Учитывая, что республика работает в значительной степени на привозном сырье, особенно актуальным является создание новых металло- и энергосберегающих технологий обработки материалов, способных создавать конкурентоспособные изделия.

Для повышения конкурентоспособности изделий машиностроения необходимо в первую очередь повышать их надежность и долговечность технологическими методами, так как достигнутый уровень последних не соответствует возросшим современным требованиям. Об этом свидетельствует тот факт, что удельный вес новых запасных частей за последние годы увеличился и составил более 65 % от стоимости приобретенных технических средств [1]. Одной из основных часто встречающихся причин выхода из строя деталей машин является износ их рабочих поверхностей, так как форсирование любого рабочего процесса в машине неизбежно вызывает интенсификацию процессов изнашивания трущихся деталей.

Для упрочнения и восстановления деталей машин применяют различные способы нанесения покрытий, позволяющие получать поверхность с требуемым химическим составом, высокой твердостью и износостойкостью. Каждый из известных способов упрочняющей обработки в силу своих особенностей имеет рациональную область применения и не всегда решает задачи, вызванные необходимостью повышения долговечности деталей машин. Поэтому, наряду с совершенствованием известных способов упрочняющей обработки, необходима разработка новых, дополняющих уже известные и расширяющих их технологические возможности. При этом актуальным является совмещение способов упрочняющей обработки, использующих комбинированное воздействие потоков энергии различного вида на обрабатываемую поверхность дета-

ли. Это позволяет получать качественно новые эксплуатационные характеристики поверхностей деталей, а также снижать энергоемкость процессов за счет использования технологического тепла.

В последние годы широко исследуются и получают практическое применение методы обработки деталей машин, использующих энергию магнитного и электрического полей. К ним можно отнести электромагнитную наплавку (ЭМН) и магнитно-абразивную обработку (МАО). Поскольку связкой порошка при указанных методах обработки служит энергия магнитного поля, появляется возможность существенным образом изменить условия упрочнения и восстановления, а также полирования изделий. В связи с этим применение этих методов обработки становится задачей первостепенной важности.

Электромагнитная наплавка [2...4], к достоинствам которой следует отнести высокую прочность сцепления наплавляемого покрытия с основой, минимальное тепловыделение и расплавление материала основы, что исключает термическое деформирование обрабатываемых деталей, является прогрессивным методом упрочнения и восстановления изделий. Сочетание ЭМН с поверхностным пластическим деформированием (ППД) способствует повышению эксплуатационных свойств различных деталей, так как при этом снижается шероховатость поверхности и пористость покрытия, увеличивается плотность и твердость поверхностного слоя, повышается сопротивление усталости и др.

Использование технологического тепла ЭМН при упрочнении ППД позволяет совместить операции наплавки и термомодеформационного упрочнения и создать условия для комбинированного формирования параметров качества поверхностного слоя, наиболее полно с точки зрения эксплуатационной наследственности параметров процессов, отвечающих служебному назначению деталей машин.

Известно, что наплавленный металл отличается неоднородностью структуры и химического состава, наличием сварочных дефектов, значительными колебаниями твердости, высокой внутренней напряженностью и другими дефектами, поэтому представляет ин-

терес оценка эксплуатационных свойств покрытий, полученных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием различных ферропорошков по критериям износостойкости и усталостной прочности.

Износостойкость покрытий, полученных ЭМН с ППД, изучалась в условиях гидроабразивного изнашивания при трении скольжения на машине для испытаний 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 длиномер 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 мкм), которую в количестве 40 мл заливали в камеру для масла. При этом для каждой партии испытываемых образцов использовали свежую порцию смеси.

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

Образцы после нанесения покрытий шлифовались. 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 НRC). Кроме того, учитывали, что абразивное изнашивание имеет преимущественно механический характер

разрушения поверхности. Интенсивность его, как известно [5, 6], 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 [4] (образцы после ЭМН и ЭМН с ППД подвергали абразивному шлифованию и MAO для получения шероховатости поверхности $Ra = 0,8...0,6$ мкм).

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

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 сте-

1. Триботехнические характеристики покрытий, полученных ЭМН и ЭМН с ППД

Материал ферропорошка	Параметр				
	Интенсивность изнашивания , мкм/км	Момент трения, нм		Коэффициент трения	
		с маслом	vsухую	с маслом	vsухую
ПР-Сталь 45-1 %В	3,6/3,2	$\frac{0,86}{0,76}$	$\frac{1,37}{1,26}$	0,13/0,12	0,21/0,19
Fe-6,5 %Cr	2,2/2,0	$\frac{0,79}{0,70}$	$\frac{1,06}{1,00}$	0,12/0,11	0,16/0,15
Fe-9 %В	2,8/2,2	$\frac{0,93}{0,90}$	$\frac{1,10}{0,98}$	0,14/0,13	0,16/0,15
Fe-5 %V	3,4/2,9	$\frac{0,99}{0,86}$	$\frac{1,58}{1,45}$	0,15/0,13	0,24/0,22
P6M5K5	2,1/1,6	$\frac{0,73}{0,67}$	$\frac{0,87}{0,80}$	0,11/0,10	0,13/0,12
Сталь 45 (эталон)	4,1	0,84	1,26	0,12	0,19

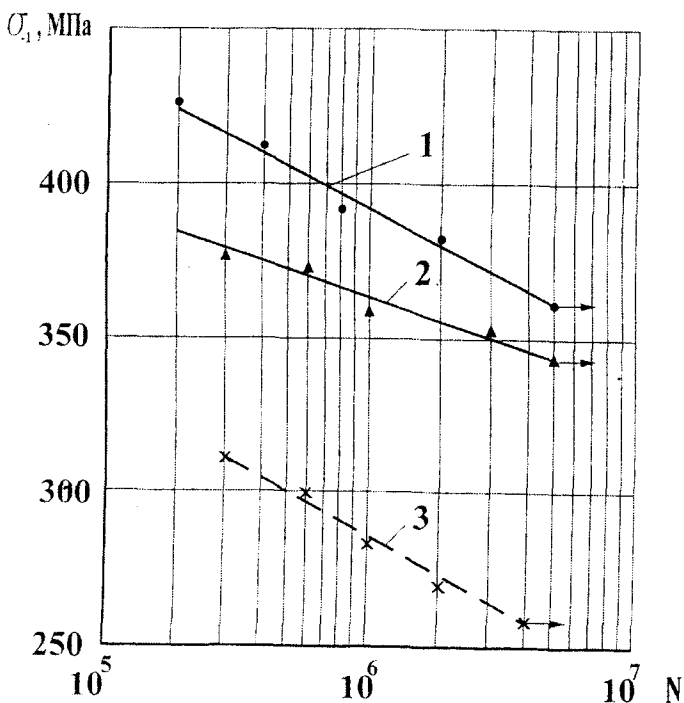


Рис. Влияние химического состава ферропорошка на усталостную прочность упрочненных электромагнитной наплавкой с поверхностным пластическим деформированием деталей: 1 – Fe-5 %V; 2 – Fe-6,5 %Cr; 3 – сталь 45

пени предел выносливости.

Поэтому в работе проводились исследования усталостной прочности деталей, упрочненных ЭМН с ППД. При этом исследовалось влияние на усталостную прочность наплавленных поверхностей только от метода наплавки и химического состава ферропорошка.

Исследование 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 ферропорошков применили Fe-5 %V и Fe-6,5%Cr. Образцы после ЭМН с ППД подвергались абразивному шлифованию и МАО, 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 $\sigma = f(N)$ представлена уравнением

$$m \lg \sigma + \lg N = \lg C,$$

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

Следовательно, криволинейная зависимость $\sigma = f(N)$ в логарифмических координатах была при-

ведена к уравнению прямой, что позволило применять метод линейной корреляции.

Анализ полученных результатов испытаний (рис.) показывает, что при циклическом нагружении образцов 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 ферропорошками Fe-5 %V и Fe-6,5 %Cr выше эталона соответственно в 1,4 и 1,3 раза. Обусловлено это тем, что ЭМН с ППД формирует в системе покрытие-основа остаточные напряжения сжатия, увеличивает зону термического влияния [3, 4]. 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 [3, 4]. Кроме того, ЭМН с ППД уменьшает пористость [5], что также повышает усталостную прочность наплавленных поверхностей.

Таким образом, применение ЭМН с ППД для упрочнения или восстановления деталей машин, работающих в условиях повышенного абразивного изнашивания и циклического нагружения, позволяет технологическим методом увеличить их износостойкость до 2,5 раза и усталостную прочность до 1,4 раза по сравнению со сталью 45, закаленной с нагрева ТВЧ на глубину 1,2...1,6 мм до 52...54 HRC.

Литература

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А.Витязь, В.С.Ивашко, А.Ф.Ильющенко и др. - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с.
2. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. - Мн.: Навука і тэхніка, 1995. - 232 с.
3. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. - Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 1997. - 416 с.
4. Ракомсин А.П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле. - Мн.: Парадокс. 2000. - 200 с.
5. 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/
6. Rakomsin F.P., Kozhuro L.M., Minevich A.A. Tribological properties of coating produced by electromagnetic facing / 12-th International colloquium "Tribology 2000 - Plus". Stuttgart, 2000. V. 3. - P. 1981...1995.