

Л.М. Кожуро, Ж. А. Мрочек, А.В. Миранович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ,
СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ
С РАЗЛИЧНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ***Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Беларусь*

В последнее время при упрочнении и восстановлении поверхностей деталей машин все большее применение находят способы нанесения покрытий с использованием композиционных порошков и электромагнитной наплавки (ЭМН). Такой способ формирования покрытий оказывается экономически эффективнее при упрочнении поверхностей деталей при их изготовлении, а также при восстановлении последних с малым износом, например, посадочных поверхностей валов под подшипники, звездочки, зубчатые колеса, муфты и др.

На структуру наплавленного металла, а значит, на эксплуатационные свойства поверхностей оказывает влияние не только химический и фазовый составы покрытий, но и технологические параметры ЭМН [1]. Так при изменении режима наплавки меняются условия формирования покрытий, геометрические характеристики и химическая неоднородность наплавленного материала.

Известно [2], что одним из основных технологических параметров ЭМН является величина магнитной индукции (B) в рабочем зазоре, соблюдение постоянства которой во времени обеспечивает устойчивый и стабильный процесс наплавки и получение качественных покрытий с требуемыми триботехническими и эксплуатационными характеристиками. При этом практика использования установок ЭМН показывает, что на магнитную индукцию значительное влияние оказывает конструктивное исполнение различных магнитных систем. В качестве устройств, формирующих магнитное поле в рабочем зазоре, используются магнитные системы на выпрямленном токе и с постоянными магнитами из сплава Al-Ni-Co-Fe, например, ЮНДК24Т (ГОСТ 17809 –72). Ранее, результаты проведенных исследований [3] показали, что первые позволяют получать периодически изменяющуюся во времени величину магнитной индукции в рабочем зазоре и, соответственно, недостаточно качественное покрытие (неравномерное по толщине, с повышенной пористостью и шероховатостью), вторые — обеспечивают более равномерное рас-

пределение расплава материала порошка по обрабатываемой поверхности заготовки, что улучшает качество покрытий.

Однако, поскольку наплавленный металл отличается в той или иной степени неоднородностью структуры и химического состава, значительными изменениями величины твердости и высокой внутренней напряженностью, представляет практический интерес оценка износостойкости материала покрытий, полученных ЭМН различных порошков.

Цель работы — исследование износостойкости покрытий, полученных наплавкой композиционных порошков на железной основе с использованием установок электромагнитной наплавки с электрическими и постоянными магнитами.

Материалы, оборудование и методики исследования. Износостойкость покрытий, полученных ЭМН с электрическими и постоянными магнитами, измерялась для условий гидроабразивного изнашивания при трении скольжения. Испытание материалов проводилось с использованием машины 2070 СМТ-1 по схеме «диск — колодка».

Покрытия толщиной 1 мм наносили на цилиндрические нормализованные образцы из стали 45 с наружным диаметром 40 мм. Колодка из чугуна ХТВ (ГОСТ 3185-74) имела высоту 10 мм, что позволяло сохранять измерительную базу, так как по краям образца оставались цилиндрические ленточки. Линейные измерения образцов проводили в двух взаимноперпендикулярных плоскостях по двум сечениям, толщину колодки измеряли по двум сечениям, используя оптический длинномер ИЗВ-1 (точность измерения 0,001 мм).

Для ускорения процесса изнашивания наплавленной поверхности использовали масляно-абразивную смесь (масло промышленное И-20, содержащее 2 % карбида бора зернистостью 4 ... 5 мкм). Для каждой партии испытываемых образцов в ванну установки заливали новую порцию смеси. Абразивные частицы во взвешенном состоянии в период испытаний поддерживались лопастями крыльчатки, закрепленной на одном валу с образцом, стабильность температурного режима смеси контролировалась и сохранялась постоянной.

Образцы после наплавки покрытий шлифовались с использованием круглошлифовального станка модели ЗБ64 до получения шероховатости поверхности $Ra = 0,63$ мкм. Затем они прирабатывались с колодкой. Окончание приработки определяли по стабилизации величины момента трения пары.

Режим испытаний соответствовал условиям работы деталей в реальных условиях работы узла машины, для которых характерна скорость скольжения до 3,0 м/с и удельная нагрузка 1,5 ... 3,0 МПа. Испытывали партии по пять образцов.

Оценку износостойкости покрытий при сравнительных испытаниях проводили по средней для испытываемых покрытий интенсивности изнашивания I , определяемой по формуле

$$I = \omega / h,$$

где ω — линейный износ на диаметр образца, мкм; h — путь трения за время испытаний, км, равный

$$h = \pi \cdot D \cdot N \cdot 10^{-6},$$

где D — диаметр образца, мм; N — общее число оборотов, совершенное образцом.

При испытаниях определяли величину момента и коэффициент трения пар с покрытиями, сформированных при различных условиях наплавки.

Коэффициент трения определяли:

$$f = M_{\text{тр}} / (R \cdot P),$$

где $M_{\text{тр}}$ — момент трения, Н·м; R — радиус образца, м; P — нагрузка на образец, Н.

Все полученные экспериментальные величины по износостойкости покрытий, подвергались статистической обработке.

Измерения износостойкости покрытий проводили на образцах, наплавленных и обработанных при оптимальных условиях и режимах наплавки, представленных в работах [1, 2]. Результаты исследований сопоставляли с эталоном (сталь 45 закаленная и нормализованная, 52 ... 54 HRC). Учитывалось, что абразивное изнашивание имеет преимущественно механический характер разрушения поверхности и интенсивность его в наибольшей степени зависит от твердости сопрягаемых материалов, удельной нагрузки и скорости перемещения.

Результаты и обсуждение. Результаты испытаний представлены на рис. 1 и 2, анализ которых показывает, что влияние на износостойкость покрытий оказывает не только химический и фазовый составы покрытий, но и конструктивное исполнение различных магнитных систем. Так покрытия, полученные ЭМН с постоянными магнитами, для всех исследуемых материалов ферропорошков имеют более высокую износостойкость по сравнению с покрытиями, полученными ЭМН с электрическими магнитами. Обусловлено это тем, что при нанесении покрытий с использованием постоянных магнитов снижается пористость, шероховатость, повышается их плотность и однородность.

I , мкм/км

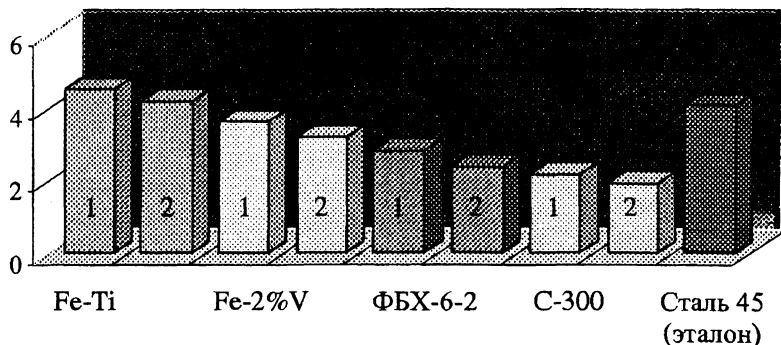


Рис. 1. Диаграмма интенсивности изнашивания покрытий, полученных ЭМН с электрическими (1) и постоянными (2) магнитами

Анализ результатов исследований показал, что пористость и шероховатость покрытий, полученных ЭМН с электрическими и постоянными магнитами составляют соответственно $P = 10 \dots 16\%$, $Ra = 25 \dots 50$ мкм и $P = 6 \dots 10\%$, $Ra = 12,5 \dots 25$ мкм. Видно, что с уменьшением пористости и шероховатости покрытий повышается твердость и соответственно износостойкость последних.

I , мкм/км

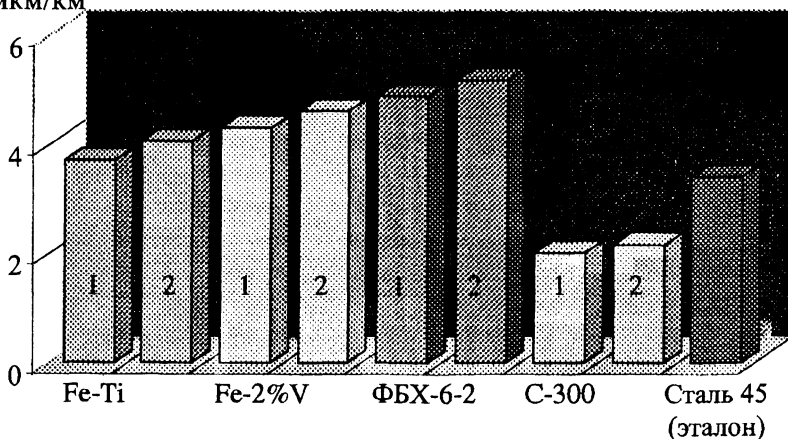


Рис. 2. Диаграмма интенсивности изнашивания контртела

Показано, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из порошков ферроборхрома ФБХ-6-2 и сплава С-300, полученного на основе высокохромистого чугуна. Износостойкость этих покрытий значительно выше износостойкости эталона (сталь 45). Так, она в 1,6 ... 1,9 раза больше для ЭМН с электрическими магнитами и в 1,8 ... 2,2 раза — для ЭМН с постоянными магнитами. Износостойкость покрытий по сравнению с эталоном для Fe-2%V больше в 1,1 и 1,3 раза при использовании установок с электрическими и постоянными магнитами. Покрытия из порошка Fe-Ti имеют износостойкость почти равную эталону. Такую низкую износостойкость по сравнению с остальными исследуемыми составами порошков можно объяснить отсутствием карбидных фаз в структуре покрытия из порошка Fe-Ti.

Таким образом, в порядке убывания износостойкости покрытий последние можно расположить в следующей последовательности:

С-300 → ФБХ-6-2 → Fe-2%V → Сталь 45 (эталон) → Fe-Ti.

Анализ результатов испытаний износостойкости контртела и покрытий (рис. 1 и 2) показывает, что минимальный износ контртела и пары сопряжения получен для порошка С-300, что, вероятно, обусловлено в первую очередь наличием в структуре покрытия остаточного аустенита — пластичной и более мягкой фазы, которая выполняет роль демпфера, снижающего динамические нагрузки на поверхность и ускоряет процесс приработки пары «деталь-контртело». Износостойкость образцов с покрытиями из порошка С-300 по сравнению с эталоном для покрытий, полученных ЭМН с электрическими и постоянными магнитами, увеличилась соответственно в 1,3 и 1,5 раза. Для покрытий из порошков ФБХ-6-2, Fe-2%V, Fe-Ti износостойкость увеличилась соответственно в 1,2 и 1,5; 1,1 и 1,3; 1,05 и 1,15 раза соответственно. Последние пары трения имеют по сравнению с первой наибольший момент и коэффициент трения со смазкой и без нее. Следовательно, для пары трения, работающей при трении скольжения, следует использовать покрытия из порошка С-300, а для неподвижных соединений лучшими будут покрытия из порошков ФБХ-6-2, Fe-2%V, Fe-Ti.

Известно [1], что одним из важных показателей качества процессов формирования рабочих поверхностей трения при любых технологических схемах являются стабильность и воспроизводимость эксплуатационных свойств изделий. В этой связи значительный интерес вызывает сопоставление дисперсии результатов испытаний износостойкости покрытий, полученных ЭМН с использованием устройств с электрическими и постоянными магнитами.

Анализ результатов испытаний износостойкости покрытий показал, что разброс экспериментальных данных не превышает 13 % для ЭМН с электри-

ческими магнитами и 7% для устройств с постоянными магнитами. Это свидетельствует о более устойчивом и стабильном процессе ЭМН с постоянными магнитами.

Выводы. Установлено, что на величину износостойкости покрытий оказывает влияние не только химический и фазовый составы покрытий, но и механизм воздействия магнитной индукции в рабочем зазоре на поверхность заготовки, зависящий от конструктивного исполнения магнитных систем. Наибольшей износостойкостью обладают покрытия из порошка ФБХ-6-2 и сплава С - 300. Износостойкость этих покрытий выше износостойкости эталона в 1,5; 1,9 и 1,8; 2,1 раза для ЭМН с электрическими и постоянными магнитами соответственно. Покрытия, полученные ЭМН с постоянными магнитами, для всех исследуемых материалов порошков имеют износостойкость выше на 20 ... 35 % по сравнению с покрытиями, полученными с электрическими магнитами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. — Мн.: Навука і тэхніка, 1995. — 232 с. 2. Кожуро Л. М., Миранович А. В., Тризна В. В. Моделирование процесса восстановления деталей машин с применением гибкого производственного модуля на постоянных магнитах // Моделирование сельскохозяйственных процессов и машин: Материалы 3 респ. науч.-техн. конф., Мн., 13–15 ноября 2002 г / Минсельхозпрод РБ, БГАТУ. — Мн., 2002. — С. 82–84. 3. Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А., Миранович А. В. Повышение эффективности процесса электромагнитной наплавки // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы междунац. науч.-техн. конф., Мн., 26–30 мая 2003 г. / Машиностроение. — Мн., 2003. — Вып. 19. — С. 97–100.