

3. Иовлев, Г. А. Технологическое обеспечение уборки силосных культур [Электронный ресурс] / Г. А. Иовлев, И. И. Голдина, А. Г. Несговоров / Научно-технический вестник: технические системы в АПК. – 2023. – С. 40-53.

4. Рекомендации по применению технологии и технических средств заготовки силоса путем вакуумного уплотнения для крестьянских, фермерских и подсобных хозяйств Республики Казахстан / К. М. Хазимов, А. К. Ниязбаев, Ж. М. Хазимов, Ж. Б. Сагындыкова, М. Ж. Хазимов, Е. Р. Жумагалиев, И. А. Тайлер – Алматы: НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», 2025. - 25 с.

5. Жумагалиев, Е. Р. Приготовление силоса путем вакуумирования зеленой массы в мягких контейнерах с использованием низкорамного прицепа [Электрон. ресурс] / Е. Р. Жумагалиев, Ж. М. Хазимов, К. М. Хазимов, Д. А. Шамуратов, Б. У. Сералы // Исследования, результаты. – Алматы. – 2024. – № 1(101). – С. 299–310. <https://doi.org/10.37884/1-2024/29>.

УДК 621.791.92 : 621.81

Косак А.А., магистрант;

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация В работе рассматриваются технологические возможности способов упрочнения металлических поверхностей деталей посредством нанесения защитных износостойких покрытий и их финишной абразивной обработки с использованием энергии электрического и магнитного полей.

Abstract The paper examines technological capabilities of methods for strengthening metal surfaces of parts by applying protective wear-resistant coatings and their finishing abrasive treatment using the energy of electric and magnetic fields..

Ключевые слова машиностроительное производство, насосное оборудование, технологические способы, магнитно-электрическое упрочнение, магнитно-абразивная обработка, композиционный ферромагнитный порошок, износ.

Keywords mechanical engineering, pumping equipment, technological methods, magnetic-electric hardening, magnetic-abrasive treatment, composite ferromagnetic powder, wear.

В машиностроительном и ремонтном производстве весьма актуальной проблемой является повышение работоспособности технологического оборудования, используемого в нефтеперерабатывающей промышленности

[1, 2]. Так, для перекачки масла, пековой массы, мазута, гудрона, битумных эмульсий, дегтя и других органических вязких составов применяются стационарные станции, в состав в которых входят насосы, например, модельного ряда ДС (шестеренные насосы мод. ДС-125-11 2, ДС-125-11 3 и др.).

Следует отметить, что в процессе эксплуатации насосов по перекачке жидкостей с вязкостью до $35 \text{ см}^2/\text{с}$ при температурах от $+50$ до $+180$ °С возникают неисправности, с такими основными признаками, как вибрация самого агрегата, повышенный уровень шума и изменение его тональности, увеличенные рабочие токи, пульсации давления. При этом причинами выхода насоса из строя являются следующие дефекты: качество изготовления, сборки и монтажа (дефекты 1–3), износ контактирующих поверхностей (дефект 4) [3, 4].

Известно [4, 5], что в результате превалирования трения рабочих поверхностей с перекачиваемой средой в верхних слоях металла возникают механические и молекулярные взаимодействия, детали подвергаются значительному интенсивному изнашиванию (подшипников, рабочих колес и роторов, уплотнений, муфт) с изменением их конструктивных параметров [5, 6]. В результате этого происходит падение напора подачи и, соответственно, уменьшение производительности насоса при практически неизменной потребляемой мощности. При большом износе колеса и щелевого уплотнения на входе нарушается балансировка (возникает неуравновешенная осевая сила) и значительный износ подшипника, рабочего колеса и корпуса.

Одними из эффективных технологических способов упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей насосного оборудования являются электрофизические, основанные на концентрации энергии в пространстве и во времени, что позволяет практически исключить коробление деталей, вызванное температурными деформациями. К числу таких технологий относится термомеханическое упрочнение в электрическом и магнитном полях (ЭМП) [2, 3]. При воздействии переменного электромагнитного поля на поверхностный слой металла протекают интенсивные процессы размножения и перемещения дислокаций с изменением эксплуатационных свойств материала [4, 5]. Так, с увеличением плотности дислокации, сталь претерпевает наклеп с изменением параметра решетки мартенсита и снижении температуры мартенситного превращения. Эти явления проявляются в технологических способах, использующих энергию ЭМП – магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ), а также магнитно-абразивная обработка (МАО) [6, 7].

Следует отметить, что реализация способов МЭУ и МАО возможна в едином технологическом процессе и на одном оборудовании [2, 4, 5].

Основными преимуществами МЭУ являются: высокая прочность сцепления покрытия с основой; отсутствие термической деформации и специальной подготовки поверхностей [3, 4]. Для МАО характерны следующие преимущества: регулирование плотности и жесткости обрабатывающего инструмента, сформированного из ферроабразивного порошка (ФАП); обеспечение параметров шероховатости обрабатываемых поверхностей в пределах $Ra\ 0,01 - 0,63\ \mu\text{м}$, снижения волнистости в 4 – 10 раз, гранности в 2 раза [5, 6].

Существенным недостатком МЭУ является неравномерность и неоднородность покрытия по толщине, что не позволяет использовать способ для восстановления геометрических размеров поверхностей, износ которых составляет более $0,10 - 0,15\ \text{мм}$ [2, 4]. С целью устранения недостатка в устройствах МЭУ разработана электромагнитная система (ЭМС) на основе постоянных магнитов (ПМ), обеспечивающая синхронизацию воздействий электрическими разрядами и внешним ЭМП на частицы КМП и обрабатываемую поверхность в рабочей зоне. Максимальную стабильность процесса МЭУ обеспечивают ПМ из сплавов ЮНДК. В качестве источника технологического тока используется инверторный источник питания (например, мод. Invertes и др.), обеспечивающий требуемую частоту, скважность пульсаций технологического тока и минимальную нестабильность процесса МЭУ [4].

Недостаток МАО поверхностей с покрытиями из КМП – снижение интенсивности обновления щетки из ФАП в рабочей зоне, что отрицательно сказывается на производительности обработки и физико-механических свойствах обрабатываемых деталей [5, 6]. Анализ технологических и конструкционных особенностей устройств МАО показал, что наибольшая производительность процесса достигается за счет сообщения осциллирующих движений частицам ФАП в рабочем зазоре. Вместе с тем, при потере режущих свойств у рабочей кромки по мере ее работы требуется переориентация частиц ФАП, чему препятствуют соседние частицы плотной ферроабразивной щетки [5]. Для принудительной переориентации с регенерацией щетки ФАП используется конструктивное решение – направленных магнитных потоков от двух ЭМС (основной и дополнительной), расположенных под углом 90° друг к другу и работающих в импульсном режиме. Процесс МАО реализуется посредством управления направлением магнитных силовых линий в рабочих зонах и соответствующим изменением угла наклона частиц ФАП относительно обрабатываемой поверхности, плавным регулированием величины магнитной индукции до $0,9\ \text{Тл}$ посредством изменения силы тока в электромагнитной катушке дополнительной ЭМС, а упрочнение поверхностного слоя изделия обеспечивают посредством силового воздействия импульсов дополнительного ЭМП величиной до $2,0\ \text{Тл}$ в рабочей зоне.

Сгенерированные электромагнитной катушкой импульсы дополнительного ЭМП в рабочей зоне также используют для встряхивания частиц ФАП и переориентирования их наиболее острой режущей кромкой к обрабатываемой поверхности [5, 6]. Угол наклона частиц ФАП в рабочей зоне относительно обрабатываемой поверхности устанавливают в интервале 43° – 85° . ПМ, обеспечивающие величину магнитной индукции в рабочих зонах до 0,9 Тл, удерживают частицы ФАП в момент завершения импульсов дополнительного магнитного поля [6, 7].

Для реализации процесса нанесения износостойких покрытий из КМП и их финишной обработки разработано и изготовлено технологическое оборудование с комбинированной ЭМС на основе ПМ, обеспечивающее стабилизированные во времени технологические параметры режима МЭУ и МАО. При этом на структуру нанесенного металла, соответственно, и на эксплуатационные свойства поверхностей оказывает влияние не только химический и фазовый составы материалов КМП, но и технологические параметры упрочнения и финишной обработки покрытий. Так, в результате изменения режима МЭУ меняются условия формирования покрытий, геометрические характеристики и химическая неоднородность обработанного материала.

МЭУ осуществляется при реализации оптимального технологического режима [4]: плотность технологического тока $i = 1,82 - 1,96$ А/мм²; рабочий зазор $\delta = 1,2 - 2,0$ мм; подача детали $S = 0,162 - 0,20$ мм/об; магнитная индукция в рабочем зазоре $B = 0,7$ Тл; размер частиц КМП (ПГ-ХН80СР2, У45Х35ХСР и Fe-10%V) $\Delta = 250 - 315$ мкм; удельный расход КМП $q_{\text{ф}} = 3,0 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²), удельный расход рабочей жидкости $q_{\text{ж}} = 0,42 \cdot 10^{-3}$ дм³/(с·мм²). Для МАО известны следующие оптимальные технологические параметры [5, 6]: магнитная индукция основной магнитной системы $B = 0,7 - 0,9$ Тл; магнитная индукция дополнительной магнитной системы $B_{\text{дв}} = 1,5 - 2,0$ Тл; рабочий зазор основной магнитной системы $\delta_0 = 1,0 - 1,5$ мм; рабочий зазор дополнительной магнитной системы $\delta_{\text{д}} = 1,7 - 2,0$ мм; зернистость ФАП (TiC-Fe, Ферабраз-311) $\Delta = +200 - 315$ мкм; время обработки $\tau_0 = 90 - 120$ с; скорость главного движения $V = 0,9 - 1,2$ м/с; интервал включения дополнительной магнитной системы $u = 20$ с; продолжительность цикла работы дополнительной магнитной системы $\tau_{\text{д}} = 2$ с.

Следует отметить, что технологические способы МЭУ и МАО совместно применяются для упрочнения и абразивной обработки поверхностей деталей типа «тело вращения» под подшипники скольжения и качения, у которых абразивное и окислительное изнашивание этих мест происходит в условиях трения скольжения и качения со смазкой и смазкой, загрязненной частицами абразива, в процессе возвратно-вращательного и возвратно-поступательного движений, фреттинг-

коррозии. В результате этого происходит уменьшение диаметров шеек валов, задиры, сколы и риски на контактирующих поверхностях деталей.

Так, в результате комбинированной обработки МЭУ и МАО посадочных мест рабочих колес, роторов шестеренных насосов мод. ДС-125-112 и ДС-125-113 изменяется структура поверхностного слоя металла, отличительными особенностями которой являются следующие:

достаточно высокая плотность и однородность покрытия (например, из КМП ПГ-ХН80СР2, У45Х35ХСР и Fe-10%V), наличие своеобразной «зеренной» структуры с мелкими (менее 0,10 мкм) порами по границам зерен и ячеек;

образование более развитого диффузионного слоя, в котором происходят превращения, соответствующие полной закалке;

увеличивается протяженность зоны термического влияния и более глубоко развиваются в ней фазовые превращения как в феррите, так и в перлите. Пористость не превышает 10%.

Полученные результаты исследований показывают, что использование технологических способов упрочнения и последующей финишной обработки позволяет уменьшить износ рабочих поверхностей деталей насосного оборудования примерно в 1,5 – 2,0 раза по сравнению с типовой технологией.

Таким образом, предлагаемые технологические способы и оборудование для упрочнения и обработки посадочных мест валов, рабочих колес и роторов являются эффективными, так как позволяет экономить до 5 % дефицитного и дорогостоящего материала.

Список использованной литературы

33. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
34. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын [и др.]. – Минск: ФТИ НАНБ, 1997. – 416 с.
35. Акулович Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. Полоцк : ПГУ, 1999. 240 с.
36. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Мрочек Ж.А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель : ИММС НАНБ, 1999. 276 с.
37. Акулович Л.М., Миранович А.В. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники. Минск : БГАТУ, 2016. 236 с.
38. Акулович, Л.М. Управление обработкой поверхностей деталей машин в процессах магнитно-электрического упрочнения и магнитно-абразивной обработки / Л.М. Акулович, А.В. Миранович, О.Н. Ворошуха // Вес. Нац. Акад. Навук Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. Навук. – 2016. – № 4. – С. 37–48.
39. Финишная обработка поверхностей / С.А. Клименко [и др.]; под общ. ред. С.А. Чижики и М.Л. Хейфеца. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 377 с.

Summary. The results of the research show that the use of technological methods of strengthening and subsequent finishing allows to reduce the wear of the working surfaces of pumping equipment parts by approximately 1.5–2.0 times compared to standard technology, and to save up to 5% of scarce and expensive material.