

### **Список использованной литературы**

1. Сети электрические распределительные сельские напряжением 0,38–10 кВ : ТКП 385-2022 – Взамен ТКП 385-2012 (02230) – Минск : Минэнерго, 2022. – 65 с.
2. Орлов, Д. А. Автоматический ввод резерва. Принцип работы АВР / Д. А. Орлов // Развитие инструментов управления научной деятельностью : сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях, Уфа, 18 мая 2017 года. Т. 2. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2017. – С. 100–102.
3. Слепцов, В.В. Перспективы развития мобильной энергетики / В.В. Слепцов, Ю.В. Зинин, А.О. Дителева // Успехи в химии и химической технологии. – ТОМ XXXIII. – 2019. – №1. – С. 28–30.
4. Иванов, Д. В. «Разработка системы предиктивного обслуживания силовых агрегатов ДГУ на основе методов машинного обучения» / Д. В. Иванов, А. С. Петрова // Научный журнал «Приборостроение». – 2023. – Т. 66, № 2. – С. 28–35.
5. Smith, J. «Hybrid Power Systems: Integration of Diesel Gensets with Battery Storage for Improved Efficiency and Reduced Emissions» / J. Smith, A. Johnson // International Journal of Engine Research. – 2021. – Vol. 22, Issue 5. – P. 567–578.

УДК 621.791.92 : 621.81

## **МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ С ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ**

**А.В. Миранович, канд. техн. наук, доцент,**

**Д.Е. Афанасенко, аспирант,**

**А.А. Косак, магистрант**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь**

**Аннотация:** В работе выполнены исследования качественных характеристик покрытий, полученных комбинированной обработкой деталей винтовых объемных насосов.

**Abstract:** The presents a study of the qualitative characteristics of coatings obtained by combined processing of parts of positive displacement screw pumps.

**Ключевые слова:** винтовой объемный насос, композиционный порошок, микротвердость покрытий, средняя толщина и шероховатость поверхности, пористость.

**Keywords:** positive displacement screw pump, composite powder, coating microhardness, average thickness and surface roughness, porosity.

Для упрочнения рабочих поверхностей исполнительных органов винтовых объемных насосов в процессе их изготовления альтернативными термической обработке являются защитные упрочняющие покрытия, полученные комбинированными способами, использующими высокоинтенсивные источники энергии и их различные сочетания [1, 2]. К ним также относится магнитно-электрическое

упрочнение (МЭУ) с пневмовибродинамической обработкой (ПВДО) и последующей финишной обработкой [3, 4], позволяющая получить формируемые поверхностные слои с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами за счет снижения остаточных напряжений растяжения в материале. Вместе с тем, исследования качественных характеристик покрытий, полученных комбинированной обработкой деталей винтовых объемных насосов не выполнялись [2, 4].

С этой целью в настоящей работе проводилось изучение качественных характеристик покрытий, полученных комбинированным способом МЭУ и поверхностной ПВДО деталей винтовых объемных насосов. Изучение покрытий, полученных последовательным нанесением паст, состоящих из композиционных ферромагнитных порошков (КМП) – Н70Х17С4Р4 и ПР10Р6М5, а также связующего (эпоксидная смола ЭДП, растворенная в жидким стекле (ТО РБ 02974150-015-99), МЭУ и их последующей ПВДО, осуществлялось на цилиндрических образцах из стали 08Х13 (ГОСТ 5632-2014). Упрочнение поверхностей выполнялось на оптимальных режимах: МЭУ на установке модели УМЭУ-1 с одновременной обработкой формируемого покрытия режущим абразивным кругом [2, 4]; ПВДО – специальным инструментом с рабочими телами (шариками радиусом 5,0 мм) и подачей сжатого воздуха под давлением 0,2 МПа [3, 4]. Микротвердость определялась на приборе ПМТ-ЗМ по стандартной методике, толщина поверхностных слоев – по распределению микротвердости. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P, объемной пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания.

В результате выполненных исследований выявлено, что покрытия из КМП Н70Х17С4Р4 и ПР10Р6М5, упрочненные МЭУ с ПВДО, по сравнению с МЭУ имеют более высокую плотность и однородность слоев (присутствуют более мелкие поры с размером менее 0,10 мкм) по границам зерен и ячеек, а также большую протяженность зоны термического влияния (более 480 мкм). Результаты исследований микротвердости покрытий показывают, что наибольшее значение средней микротвердости наблюдается у покрытий из КМП Н70Х17С4Р4, полученных МЭУ с ПВДО, и составляет  $656 \text{ HV}_{0,05}$ , что на 10,4% больше микротвер-

дости покрытий, полученных МЭУ( $588 \text{ HV}_{0,05}$ ), и в 3,04 раза больше по сравнению с материалом основы ( $216 \text{ HV}_{0,05}$ ). Отмечается образование малоуглеродистого мартенсита и наличие структурно-свободного феррита, на участках, прилегающих к основе. На самой границе с основой со стороны покрытия образуется тонкий слой со структурой полной закалки, что связано с диффузией углерода из материала основы в жидкую фазу покрытия. Результаты исследований (таблица) показывают, что МЭУ с ПВДО покрытий по сравнению с МЭУ при уменьшении средней их толщины на 8,2–10,7%, позволяет повысить качество упрочненных поверхностей за счет снижения их объемной пористости в 1,2–1,3 раза, средней шероховатости по параметру  $Ra$  в 1,7–1,8 раза.

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей

Материал КМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %	Средняя шероховатость поверхности ( $Ra$ ), мкм
МЭУ с обработкой абразивным кругом			
H70X17C4P4	298	4,2	3,2
ПР10Р6М5	292	4,4	2,8
МЭУ с обработкой абразивным кругом и ПВДО			
H70X17C4P4	266	3,6	1,8
ПР10Р6М5	258	3,5	1,6

В результате выполненных исследований установлено, что ПВДО покрытий после МЭУ позволяет получить более высокую плотность и однородность поверхностных слоев, увеличить микротвердость покрытий на 10,4%. КМО поверхностей по сравнению с МЭУ позволяет повысить качество покрытий за счет уменьшения их объемной пористости в 1,2 – 1,3 раза и средней шероховатости по параметру  $Ra$  в 1,7 – 1,8 раза.

#### Список использованной литературы

- Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
- Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
- Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232с.
- Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.