

$$R(L_3) = 23,3 - 18,3 = 5 \text{ ч.}$$

$$R(L_4) = 23,3 - 16,6 = 6,7 \text{ ч.}$$

$$R(L_5) = 23,3 - 17,0 = 6,3 \text{ ч.}$$

$$R(L_6) = 23,3 - 17,4 = 5,9 \text{ ч.}$$

**Вывод:** Разработанная оптимизация сетевой модели технологического процесса ремонта культиватора КПС-4, что позволило сократить критическое время пребывания машины в ремонте с 38 до 23,3 ч.

#### Литература

1. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень: навчальний посібник для студентів інженерних факультетів сільськогосподарських вузів /Ю.П.Нагірний.– М.:Урожай, 1994.- 138с.
2. Паніна В.В. Оптимізація сівової моделі виробничих процесів ремонту ПЛН-5-35/В.В. Паніна, Д.М. Дзендзель/Материалы XIII Международного форума молодежи “Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке” г. Харьков. – 2017. – С. 103.

УДК 622.279.5

### **ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЮЩЕЙ ШИХТЫ НА ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ ДЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

**Скобло Т.С.**, д.т.н., профессор, **Рыбалко И.Н.**, к.т.н., **Ткаченко М.С.**

ХНТУСХ, г. Харьков, Украина

По данным промышленной статистики [1], основное количество отказов при эксплуатации насосно-компрессорных труб(НКТ) происходит по причине коррозионной повреждаемости резьбовых соединений (55%). Поэтому исследования, посвященные защите и их упрочнению, являются актуальными.

В качестве таких добавок, например, в соответствии с ISO 13678:2009, в смазки вводят аморфный графит, свинцовый порошок, чешуйки меди, цинковой пыли и других компонентов, в частности, дисульфид молибдена в различных сочетаниях, которые уменьшают вибрацию и износ, а также существенно влияют на коррозионную повреждаемость резьбового соединения.

Представляет значительный практический интерес изучение возможности использования для снижения повреждаемости резьбовых соединений труб в процессе эксплуатации использование более дешевого эффективного вторичного сырья.

Исследована возможность использования в качестве присадки в пластичную смазку вторичного сырья - детонационной шихты от утилизации боеприпасов отслуживших срок хранения и состоящих из наноалмазов, меди и небольшой доли оксидов железа. Исследовали влияние такой добавки на формирование структуры поверхности трения, распределение компонентов, входящих в состав смазки и присадки, для установления кинетики и механизма влияния её на износ такого способа модифицирования[2].

Для реализации поставленной задачи исследовали металлографические изображения поверхности трения, полученные в электронном микроскопе, а также с помощью микрорентгеноспектрального анализа. Статистически изучали локальное и общее распределение компонентов [3]. На практике для стабилизации резьбовых соединений чаще всего вводят графит, но он эффективен только при наличии в смазке кислорода. Поскольку кислород быстро уходит, то графит становится абразивом. Поэтому провели исследования по замене графита детонационной шихтой, которая содержит наноалмазы 3,37-3,43% С, 2,9% Fe, 3,14%Cu. Такие наноалмазы, содержащиеся в детонационной шихте покрыты окисной плёнкой, поскольку детонацию проводили на воздухе. Использовалась дисперсная шихта с размером зёрен нано- и микро. Наноалмазы в детонационной шихте имеют размеры до 100нм.

Анализ проводили на шлифах, отобранных от основного металла поврежденной трубы, выведенной из эксплуатации, а также на поверхности трения после специального шаржирования с добавлением в смазку «Литол-24» детонационной шихты в концентрации 0,5% вес.

На рис. 1 приведены царапины, в которых размером до 20мкм накапливается в 3 раза больше углеродсодержащей доли присадки, чем на поверхности в исходном металле, а также выявлены примеси Mg, Cl, K, O, Na и Cu. При этом глубина таких царапин изменяется от 1,77 до 3,47мкм.

Моделирование процесса трения проводили шаржированием поверхности образца в течение длительного времени (12ч), что позволило выполнить более точную имитацию процесса и получить большую площадь структурных изменений для дальнейшего анализа в исследованиях.

Для стабильной эксплуатации резьбовых соединений (уменьшения влияния вибрационных воздействий) доля примеси должна быть на уровне 20-30% от доли смазки. При введении менее 20% смазка недостаточно загущается, и примесь легко измельчается, а при ее доле более 30% возрастает количество царапин и склонность к разрушению резьбового соединения.

Использование детонационной шихты особенно эффективно в связи с тем, что она насыщена кислородом и при разрушении алмазной составляющей с формированием графита остаётся работать в условиях такой смазки. Без достаточной доли кислорода в смазке с графитом он превращается в абразив и разрушает резьбовое соединение. Кроме того, использование вторичного детонационного сырья существенно уменьшает затраты на модифицирующие присадки.

Поскольку детонационная шихта также включает компоненты, которые повышают износостойкость и формируют защитные пленки при трении, то существенно уменьшается возможность задиры и разрушения поверхностей в сопряжении.

Установлено, что модифицирование пластичной смазки детонационной шихтой от утилизации боеприпасов уменьшает задиры при эксплуатации в резьбовых соединениях в 2 раза. При этом коэффициент трения уменьшается не существенно.

Испытаниями на износ при нагрузках 0,05-0,45 кН установлено, что при использовании добавки детонационной шихты существенно уменьшаются задиры и они наступают только при 0,45 кН, а также при введении графита - до 0,35 кН, а без использования модификаторов - 0,25 кН. По уровню повреждаемости использование детонационной шихты также обеспечивает уменьшение этого показателя.

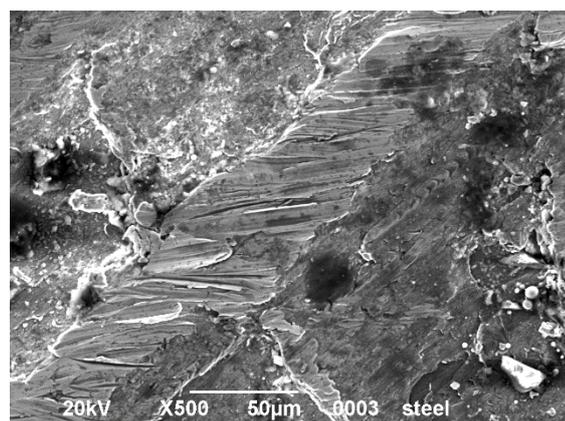


Рисунок 2 - Поверхность царапин после полного удаления смазки и детонационной шихты и зоны, которые располагаются рядом

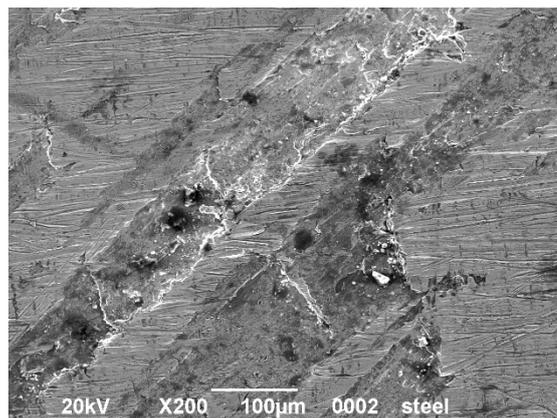


Рисунок 1 - Царапины на поверхности резьбового соединения

В процессе длительного износа, когда происходит схватывание, отмечается полное удаление смазки и детонационной шихты из царапин и они приобретают рельеф трения (рис. 2).

В этом случае удалось наблюдать и повышенное количество модифицирующей присадки, расположенной у границы царапины. Эффективной является присадка, частично содержащая долю шихты до 5-8% от вносимой смазки.

Литература

1. Эффективное покрытие для повышения эксплуатационной надёжности и срока службы труб в жёстких условиях нефтегазодобычи / В. И. Большаков, Е. В. Проскуркин, Т. А. Дергач // *Металознавство та термічнаобробкаметалів*. - 2013. - № 2-3. - С. 5-13.
2. Скобло Т.С. Напряжения и деградация структуры, формируемые в насосно-компрессорных трубах при эксплуатации. Монография. / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, И.Н. Рыбалко. Под ред. проф. Т.С. Скобло – Харьков: ООО «ПромАрт», 2018. – 153с.
3. Влияние добавок углеродсодержащей шихты в пластичную смазку на особенности формирования поверхности трения соединений в насосно-компрессорных трубах / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, И.Н. Рыбалко, А.Ю. Марченко, А.К. Олейник // *Проблемитрибології (Problems of Tribology)* – 2017. – Хмельницький, 2017. – №3. - С. 16-24.

УДК 621.791.92 : 621.81

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОКРЫТИЙ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ**

**Миранович А.В.**, к.т.н., доцент, **Щурский Д.С.**  
БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь

Известно, что создание на контактных поверхностях деталей машин оптимальных сочетаний параметров качества (толщины, шероховатости, распределения микротвердости, фазового и химического состава по глубине поверхностного слоя и др.) возможно за счет использования электрофизических способов в сочетании с традиционно существующими (формообразующими и упрочняющими) [1, 2]. Одним из перспективных направлений упрочнения металлических поверхностей деталей является обработка комбинированным способом, включающим последовательное проведение совмещенных в одной технологической схеме магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) и электромеханическую обработку (ЭМО) [3]. Следует отметить, что при МЭУ в результате совместного воздействия разрядного тока и магнитной индукции в рабочем зазоре (РЗ) на частицы ферромагнитного порошка (ФМП) в составе пасты, а также при ЭМО – технологического тока и усилия накатывания электрода-инструмента на обрабатываемую поверхность формируются покрытия с регулируемыми параметрами качества [3, 4].

Поэтому целью исследований являлось изучение влияния стабилизированных технологических параметров электромеханической обработки на параметры качества поверхностных слоев, полученных магнитно-электрическим упрочнением.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями, полученными МЭУ ферромагнитным порошком ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75) в составе пасты (раствор эпоксидной смолы ЭДП в жидком стекле (ТО РБ 02974150-015-99) и последующей ЭМО. Магнитно-электрическое упрочнение выполнялось – на установке модели УМЭУ-1 на оптимальных режимах (таблица 1) и ЭМО – накатным устройством с роликовым электродом-инструментом (плотность технологического тока  $i_э=100-110$  А/мм<sup>2</sup>; напряжение  $U_э=2-6$  В; усилие накатывания электродом-инструментом  $P_э=0,25-0,75$  кН).

Таблица 1 – Оптимальные режимы МЭУ

Материал ФМП	Оптимальные значения				
	$i$ , А/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , мм	$S$ , мм/об	$V$ , м/с	$q$ , г/(с·мм <sup>2</sup> )
ФБХ 6-2	1,91	1,50	0,220	0,055	$2,86 \cdot 10^{-3}$

где  $i$  – плотность разрядного тока, А/мм<sup>2</sup>;  $\delta$  – величина рабочего зазора, мм;  $S$  – скорость подачи, мм/об;  $V$  – окружная скорость заготовки, м/с;  $q$  – расход ФМП, г/с·мм<sup>2</sup>.

Макро- и микроструктура изучалась с использованием светового микроскопа Mef-3 (фирма «Reichert-Jung») и растрового электронного микроскопа

LEO 1455 VP (фирма «Carl Zeiss»). Рентгенофазовый анализ осуществлялся с помощью рент-