

УДК 621.434-242.004.67

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА РОТОРНОЙ ГРУППЫ НАСОС-МОТОРОВ

канд. техн. наук, доц. В.А. ФРУЦКИЙ; канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО  
(Полоцкий государственный университет)

*Анализируются основные методы восстановления параметров рабочих поверхностей вкладышей подшипников скольжения роторной группы насосов высокого давления и насос-моторов. Предложен авторский метод восстановления вкладышей вала насос-мотора, согласно которому восстановление проводится наплавкой и напылением. Проанализированы возможности применения различных вариантов покрытий. Выполнен сравнительный анализ методов получения покрытий и их свойств. Проведено сравнение получаемых покрытий с известными свойствами покрытий из антифрикционных бронз.*

**Ключевые слова:** износостойкость, восстановление, вкладыши, подшипники скольжения, насос-моторы, роторная группа.

**Введение.** Решение задачи увеличения несущей способности подшипников и увеличения их износостойкости является проблемой, которая исследуется в ряде научных работ [1–3]. К материалам подшипников скольжения предъявляются высокие, однако в какой-то мере противоречивые требования: усталостная прочность; сопротивление схватыванию (совместимость); износостойкость; прирабатываемость; абсорбционная способность; коррозионная стойкость; кавитационная стойкость [3]. Выработка и выход из строя подшипников скольжения или качения, а также коррозионные оспины, появление рисок и надиров при попадании мелких посторонних частиц во вкладыши подшипников вместе со смазкой приводят к износу шеек валов [3]. Известен ряд способов восстановления изношенных вкладышей подшипников, включающий закрепление на вкладышах дополнительного компенсационного слоя материала и механическую обработку антифрикционного слоя на заданные размеры [4–6]. Развитие научно-технического прогресса в машиностроении в части создания и применения новых материалов приводит к созданию материалов, обладающих повышенной несущей способностью, снижению коэффициента трения, повышению эксплуатационных характеристик, снижению стоимости. Вследствие этого все исследования, направленные на разрешение теоретических и практических вопросов, возникающих при восстановлении вкладышей подшипников скольжения, остаются актуальными.

Один из перспективных способов повышения эксплуатационных характеристик подшипников скольжения – применение многоэлементных материалов, содержащих определенный набор легирующих элементов, способных взять на себя определенные функции. При этом желательно снизить стоимость всей композиции без потери антифрикционных и эксплуатационных свойств.

Цель данной работы заключается в совершенствовании разработанных технологий создания трибосопрежения, близкого по свойствам к оловянистым и оловянно-свинцовистым бронзам.

**Анализ литературных источников.** В автомобилестроении наметилась тенденция к применению в двигателях внутреннего сгорания (не только дизельных) повышенного давления с целью получения более высоких эксплуатационных характеристик [7]. В настоящее время применяются насосы высокого давления и насос-моторы. Основным узлом этих устройств служит роторная группа с подшипниками скольжения из оловянистой, оловянно-свинцовой бронзы. Для изготовления таких подшипников используется литая бронза, имеющая в той или иной степени металлургические дефекты. Наряду с этим бронзы характеризуются низкими прочностными показателями, что, в свою очередь, ограничивает их применение в насосах высокого давления и в целом замедляет развитие нового поколения насосов.

Для восстановления вкладышей подшипников скольжения разработан ряд способов, например: способ нанесения дополнительного материала на изношенную поверхность с последующей пластической деформацией детали и калибровкой рабочей поверхности [6]; удаление с рабочей поверхности изношенных слоев антифрикционного сплава и никеля и последующее нанесение удаленных слоев (тем или иным способом) до восстановления их первоначальных размеров [6]. Эти способы имеют ряд ограничений к использованию и требуют дальнейшего развития и корректировки.

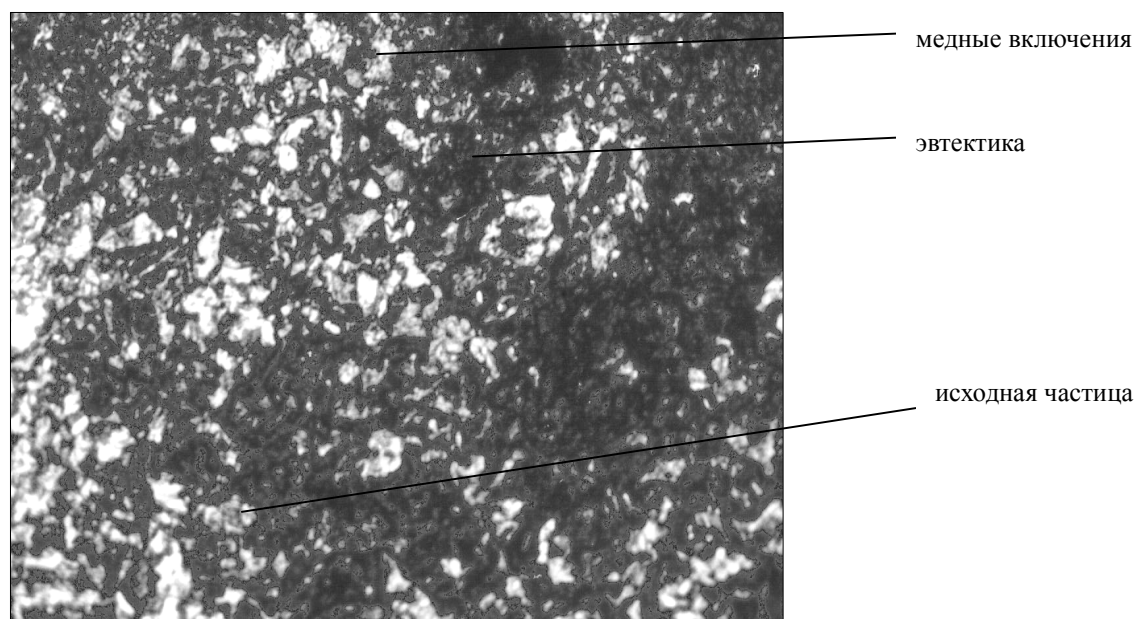
В представляемой работе будет рассмотрен *вопрос развития метода восстановления вкладышей вала насос-мотора с помощью наплавки и напыления*; также будут рассмотрены *различные варианты покрытий и проведены сравнения методов получения покрытий и их свойства*.

**Условия и методы исследования.** Для проведения исследований создана лабораторная установка, которая включает в себя следующие блоки: в качестве сигналообразующего модуля установлен персональный компьютер с программой модуляции сигналов различной частоты; на выходе – рабочий орган, состоящий из электромагнита с абаритными размерами, на котором сердечником служит заостренный пруток из стали 40, входящий в контакт с подложкой. На подложке закрепляется опытный образец в момент

наплавки. Причем конец прутка, соприкасающийся с образцом, подкален до 40 HRC. Противоположный конец термической обработке не подвергали. Зона цветов побежалости до ходового участка не доходила, следовательно, он находился в состоянии поставки. Посредством программного обеспечения подбирали несущий сигнал, который через цепь управления передавался на рабочий орган, оказывающий механические воздействия непосредственно на опытный образец. Применялись волны диапазона 30 ГГц, 300 ГГц,  $3 \cdot 10^3$  ГГц, которым соответствуют длины волн 1...0,1; 0,1...0,01; 0,01...0,001 м соответственно.

Уровень ванны замеряли после остывания от верхней границы до подложки. Измерения проводились при помощи микрометра. Головка микрометрическая МГ-25 ТМ. Объем сварочной ванны считали по усредненному показателю в зависимости от погонной энергии 0,6...9,7 см<sup>3</sup>.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Варианты многоэлементных покрытий рассмотрены в работах [8–10], проанализированы области их применения. Исходя из результатов анализа условий эксплуатации и режимов работы в качестве наиболее приемлемого предложено принять материал, содержащий: Cu (18%); В (1,8%); основу при этом составляли отходы обработки серого чугуна (СЧ 20) – стружка 2-й группы фракцией 63...120 мкм.



**Рисунок 1. – Структура композиционного материала из диффузионно-легированной стружки Сч+В+Cu при силе тока 280 А (×100)**

Варианты нанесения материалов более подробно рассматривались в работах [11; 12]. При нанесении материала методом напыления стояла задача добиться эксплуатационных характеристик на уровне антифрикционных бронз (таблица 1).

Таблица 1. – Микродюретрический анализ материала из стружки СЧ 20

Диффузионно введенные легирующие элементы	Сила тока, А	Микродюретрические характеристики фаз		Твердость напыленного материала, НВ
		микротвердость Н <sub>20</sub> , МПа	количество, %	
Исходная стружка+В+Cu	200	До 500	3,5	110 ± 16
		500...1000	53	
		1000...1500	18	
		1500...2000	15	
		2000...2500	10,5	
Исходная стружка+В+Cu	240	До 500	21,9	240 ± 12
		500...1000	26	
		1000...1500	31,5	
		1500...2000	20,5	
Исходная стружка+В+Cu	160	> 3000	4,1	115 ± 16
		До 500	18,8	
		500...1000	21,9	
		1000...1500	40,7	
		1500...2000	18,8	

Путем варьирования технологических параметров нанесения добивались пористости (таблица 2) в пределах 11...24%.

Таблица 2. – Пористость материала при различной силе тока

Материал	Сила тока, А	Пористость, %		
		минимальная	максимальная	средняя
Исходная стружка СЧ20	200	18	31	24
ДЛ-стружка СЧ20+В+Cu	200	11	22	17
ДЛ-стружка СЧ20+В+Cu	150	18	32	24
ДЛ-стружка СЧ20+В+Cu	300	6	15	11

Наличие пористости, с одной стороны, способствует образованию смазочных карманов, что в целом благотворно влияет на фрикционную картину в сопряжении [13]. Однако, с другой стороны, вызывает уменьшение элементарных площадок контакта, увеличивая тем самым контактные и контурные напряжения в пятне контакта, что может привести к образованию сварочных мостиков и возникновению локальных вырываний, негативно сказываясь на продолжительности работы сопряжения и его стойкости.

Благодаря анализу способов наплавки выявлено существенное уменьшение пористости на всех технологических режимах нанесения. Общая пористость наблюдалась на уровне 8% (таблица 3). Однако снижение пористости нельзя однозначно отнести на счет положительных моментов структурообразования. При уменьшении количества карманов для смазки снижается количество смазочного материала в районе контакта, а следовательно, ужесточаются режимы эксплуатации и наблюдается рост температурных параметров в зоне контакта [14]. Для нивелирования этого явления предложена технология, сочетающая оригинальные решения в области порошковой металлургии, пластического деформирования исходных порошковых материалов, а на этапе нанесения – с одновременным импульсным механическим либо магнитно-звуковым упрочнением.

При наплавочных операциях отмечено существенное влияние внешнего воздействия только в период кристаллизации покрытия. Однако как при наличии жидкой фазы, так и при наличии твердой фазы покрытия существенного влияния на структуру и свойства получаемого покрытия не было отмечено.

Таблица 3. – Пористость материала из стружки при наплавке с различной силой тока

Материал	Сила тока, А	Пористость, %		
		минимальная	максимальная	средняя
Исходная стружка Сч 20	200	2	15	8
ДЛ-стружка Сч 20+В+Cu	200	1	13	7
ДЛ-стружка Сч 20+В+Cu	150	3	15	9
ДЛ-стружка Сч 20+В+Cu	300	1	16	8

В момент кристаллизации покрытия при наличии внешнего воздействия замечена связь между объемом сварочной ванны и частотой внешнего воздействия. Одновременно наблюдалось некоторое влияние амплитуды внешнего воздействия на свойства нанесенного покрытия. Однако механизм воздействия и взаимосвязь со структурой и свойствами покрытия требуют дальнейшего более тщательного изучения.

При изменении частотных характеристик внешнего воздействия отмечено следующее: при укладке целого количества волн в объем сварочной ванны происходило снижение уровня сварочной ванны по сравнению с необработанным участком (таблица 4).

Таблица 4. – Изменение уровня сварочной ванны в зависимости от частоты воздействия

Частота расчетная, ГГц	Частота практическая, ГГц	Изменение уровня сварочной ванны, мкм	
		напыление	плазменная наплавка
30	34...42	0,1	0,3
300	300...350	0,2	0,5
1000	1020...1940	0,6	1,0

По нашему мнению, сказанное выше может свидетельствовать об уплотнении сварочной ванны в момент кристаллизации. Те же воздействия на жидкую фазу и на полностью охлажденный образец не давали заметного результата, что можно объяснить невозможностью уплотнения жидкой фазы до появления центров кристаллизации. При окончании процесса кристаллизации также не было отмечено заметных различий в состоянии образца. Объяснением тому служит недостаточная погонная энергия воздействия на образец.

При изменении мощности наплавки (меняли силу тока) увеличивался объем сварочной ванны. При новых технологических режимах и прежнем характере внешнего воздействия заметных изменений уровня сварочной ванны не обнаружено. Затем путем расчета подбирали приблизительную частоту внешнего воздействия, а посредством программного изменения несущей частоты добивались возникновения эффектов изменения уровня ванны.

Несоответствие расчетных и практических значений воздействия объясняют погрешности расчета объема сварочной ванны вследствие наличия различного рода включений и примесей, что существенно влияет на температуру как плавления, так и кристаллизации.

При увеличении объема сварочной ванны за счет увеличения погонной энергии наблюдали некоторое изменение уровня ванны. С одной стороны, это характеризуется недостаточностью механического воздействия, а с другой – наличием механического воздействия на подложку. Отсутствие внешнего эффекта объясняет несовпадение объема ванны и количества волн, уложенных в этот объем. С другой стороны, при малых значениях силы тока сварочная ванна имеет недостаточный объем, способный среагировать на внешнее воздействие и, как следствие, отражение волн внешнего механического воздействия от её бортиков, что при наличии волнового характера распространения волн приводит к явлениям интерференции и полного гашения волн в объеме сварочной ванны.

Таблица 5. – Изменение уровня сварочной ванны в зависимости от силы тока

Частота, ГГц	Сила тока, А	Изменение уровня сварочной ванны, мкм	
		напыление	плазменная наплавка
34...42	160		0,1
34...42	200	0,1	0,1
34...42	240		0,1
300...350	160	0,1	0,3
300...350	200	0,1	0,3
300...350	240	0,2	0,5
1020...1940	160	0,3	0,6
1020...1940	200	0,5	0,6
1020...1940	240	0,6	1

При увеличении силы тока увеличивается объем сварочной ванны за счет больших энергозатрат. При этом, по нашему мнению, меньшее влияние оказывают явления интерференции и дифракции. Однако при больших объемах расплавленного металла, вероятно, в большей степени могут развиваться резонансные явления, которые, в свою очередь, проходя через весь объем расплавленного материала, вызывают резонансные явления, начиная с поверхностных слоев металла. Дальнейшему распространению резонансных явлений в глубину материала препятствуют начинающиеся зарождаться центры кристаллизации, которые вызывают дифракционные явления, что препятствует возникновению резонанса.

В случае недостаточности объема сварочной ванны резонансные явления занимают не весь объем ванны, а сосредотачиваются в самом широком месте. Таким образом, явления «спрессовывания» поверхностных слоев происходят только частично, что и сказывается на внешних характеристиках при проведении замеров.

**Заключение.** В результате исследований, направленных на развитие метода восстановления вкладышей подшипников скольжения наплавкой и напылением, выявлено следующее:

- при содержании легирующих элементов В = 1,8%, и Сu = 18% стойкость исследуемого материала находилась на уровне антифрикционных бронз типа БрАЖ 9-4;
- при выборе в качестве метода нанесения покрытия напыление получаем материал с достаточной пористостью, однако способный работать при невысоких показателях скоростей и давлений;
- при наплавке пористость в меньшей степени зависит от технологических параметров нанесения и находится на уровне 7...8%;
- при использовании в качестве метода нанесения покрытия наплавку имеется возможность воздействовать на материал при помощи внешних механических воздействий.

В итоге выполненной научной работы сделано предположение о взаимосвязи частотных характеристик воздействия и объема жидкой фазы сварочной ванны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Slide Bearing for Heavy Loads / I.V. Bartsev [et al.] // Compressors and Pneumatics. – 2001. – № 6. – P. 12–13.
2. Designing Thrust Sliding Bearings of High Bearing Capacity / V. Martsinkovsky [et al.] // Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 39. – P. 148–156.
3. Копелиович, Д. Подшипники скольжения (вкладыши) для двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / Д. Копелиович // Специализированный моторный центр. – Режим доступа: [http://ab-engine.gectopascal.com/king\\_bearings\\_article/](http://ab-engine.gectopascal.com/king_bearings_article/).
4. Дагис, З.С. Способ восстановления изношенных вкладышей подшипников Дагиса [Электронный ресурс] / З.С. Дагис. – Find Patent.ru. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/208/2082579.html>.
5. Восстановление подшипников скольжения [Электронный ресурс]. – Ремонтно-механическое предприятие. – Режим доступа: <http://www.electrorem.ru/babbit.html>.
6. Способ восстановления втулок-вкладышей подшипников скольжения [Электронный ресурс] / Б.А. Сивак [и др.]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/202/2025246.html>.
7. Перспективы развития двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / Avtonov. – Режим доступа: <http://avtonov.info/perspektivy-dvs>.
8. Попов, С.Н. Концептуальные аспекты многокритериального подхода при разработке износостойких сплавов [Электронный ресурс] / С.Н. Попов; Запорожский нац. техн. ун-т. – Режим доступа: [www.otzv.h1.ru](http://www.otzv.h1.ru).
9. Козловский, И.Л. Разработка порошковых борсодержащих антифрикционных материалов на основе железа для тяжело нагруженных узлов трения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / И.Л. Козловский; Белорусское республиканское НПО порошковой металлургии. – Минск, 1988. – 18 с.
10. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
11. Кутьков, А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия / А.А. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
12. Воловик, Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Е.Л. Воловик. – М.: Колос, 1981. – 352 с.
13. Спиридонова, И.М. Структура и свойства железоборуглеродистых сплавов / И.М. Спиридонова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1984. – № 2. – С. 12–16.
14. Пантелеенко, Ф.И. Теоретические и технологические основы получения самофлюсующихся порошков на железной основе диффузионным легированием и разработка износостойких композиционных покрытий из них: дис. ... д-ра техн. наук / Ф.И. Пантелеенко. – Минск, 1992. – 245 с.

Поступила 17.01.2019

#### ALTERNATIVE MATERIALS REPAIR ROTARY GROUP, THE PUMP-MOTORS

V. FRUTSKY, S. PILIPENKO

*The paper analyzes the main methods of restoring the parameters of the working surfaces of the insert bearings of the rotor group of high-pressure pumps and pump motors, suggests its own method for carrying out the process of restoring the pump-motor shaft liners. According to the proposed method, the restoration is carried out by methods of welding and spraying. Conducted research on the application of various coating options. A comparative analysis of methods for producing coatings and their properties has been made. The properties of the resulting coatings were compared with the known properties of antifriction bronze coatings.*

**Keywords:** wear resistance, restoration, liners, bearings, pump-motors, rotor group.