

The results of research of noise level of experimental gear wheels with increased factor of blocking up to 2,05 are resulted and the opportunities of decrease of noise of force gear transfers are considered at the expense of increase of factor of blocking. The results of measurement of spectra of noise of serial and experimental gear transfers to various factors of blocking are compared. The made conclusions allow more objectively to estimate opportunities of application of two-pair gearing for force transfers.

УДК 691.793

Лукашок А.Н., Константинов В.М.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАНЕСЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ТРЕНИЕМ НА ПЛУНЖЕРЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ

Введение. В большинстве случаев аварийная работа гидравлических распределителей обусловлена износом в парах плунжер-корпус и, как следствие, падением давления в распределителе. При переключении положений распределителя в условиях масляного голодания плунжеры подвергаются схватыванию с корпусами с последующим образованием рисок и задиоров на обеих рабочих поверхностях [1, 2].

Традиционные методы борьбы с изнашиванием в этой паре заключаются в поверхностном или объемном упрочнении плунжера, и как правило, никак не затрагивают вопрос повышения износостойкости корпуса. Такие односторонние методы приводят к быстрому изнашиванию отсечных кромок в корпусе и необходимости ремонта распределителя.

Повышение долговечности пары трения возможно при образовании на поверхностях обеих деталей антифрикционного слоя, улучшающего микрогеометрию поверхностей и снижающего коэффициент трения. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) плунжера приводит к образованию в процессе работы на контактирующих поверхностях тонкой медьсодержащей пленки до 3 мкм с низким сопротивлением сдвигу. Защитная пленка снижает интенсивность изнашивания контактирующих деталей при нарушении масляной пленки в зазоре [2, 3].

Несмотря на то, что эффект снижения интенсивности изнашивания при ФАБО доказан давно [3], не многие отечественные предприятия, занимающиеся ремонтом гидроаппаратуры, применяют технологию ФАБО в своем производстве.

Целью работы является расчет эффективности нанесения финишного антифрикционного покрытия на поверхность плунжеров гидрораспределителей в условиях ремонтных предприятий Республики Беларусь.

Анализ технологических процессов изготовления (ремонта) гидравлических распределителей на предприятиях Республики Беларусь. В настоящее время РУП «140-й ремонтный завод», г. Борисов, специализируется на ремонте путевого моторно-рельсового транспорта. В структуре затрат на ремонт – приобретение комплектующих узлов гидравлической и пневматической аппаратуры. Всего 30% изношенных плунжеров распределителей и клапанов восстанавливаются, что связано с отсутствием доступного и эффективного метода упрочнения рабочих поверхностей, обеспечивающего нормативную долговечность всего узла.

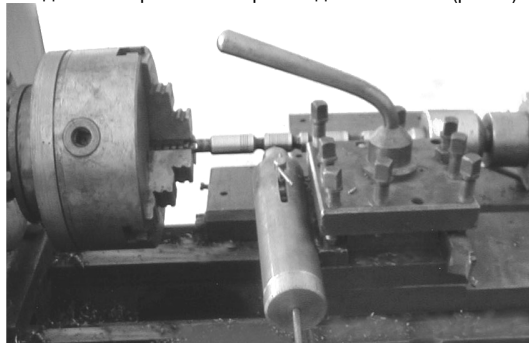
Для изготовления новых плунжеров применяются стали 15Х, 20Х и 30ХГСА. Твердость 45...55 HRCэ достигается цементацией с последующей закалкой. Корпуса (серый или легированный чугун твердостью 180...280 НВ) растачивают для достижения требуемого зазора. Плунжеры притирают с корпусами с помощью абразивных паст и затем испытывают на герметичность.

Научно-производственное объединение «Партнер», г. Витебск, специализируется на ремонте гидравлической и пневматической аппаратуры для зарубежной и отечественной спецтехники. До 2006 года предприятие имело возможность наносить антифрикционное покрытие

на поверхности плунжеров только в 10 % случаев. В остальных случаях проводились лишь традиционные термические и химико-термические виды обработки (закалка, цементация, азотирование). Сложившаяся ситуация была обусловлена высокой стоимостью ультрадисперсной алмазосодержащей притирочной пасты, закупаемой в Российской Федерации, как «ноу-хау» для финишной обработки. И хотя ее применение в абсолютном большинстве случаев продлевало ресурс распределителя более, чем в 1,5-2,0 раза, увеличение стоимости ремонта на 50-300 % не позволяло использовать ее для ремонта относительно недорогих распределителей.

Нанесение финишных антифрикционных медьсодержащих покрытий трением. Разработанная в УО «Полоцкий государственный университет» гамма устройств для фрикционного латунирования – УФЛ-01, УФЛ-02, УФЛ-03, УФЛ-04 и УФЛ-04М [4, 5] – позволяет наносить антифрикционные покрытия на внутренние и наружные поверхности деталей с различной производительностью (рис. 1).

а)



б)

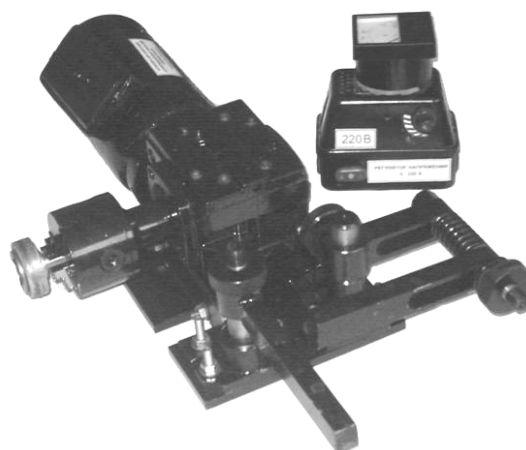


Рис. 1. а) стержневое устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий УФЛ-01; б) ротационная установка для фрикционно-механического нанесения покрытий УФЛ-04

Лукашок Александр Николаевич, младший научный сотрудник НИС кафедры технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Константинов Валерий Михайлович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой материаловедения Белорусского национального технического университета.

В качестве вращателя плунжера используется токарный станок, с регулируемой частотой вращения шпинделя 25...150 об/мин. Устройства УФЛ-01 и УФЛ-02 могут закрепляться практически в любом резцедержателе. Установки УФЛ-03, УФЛ-04 и УФЛ-04М спроектированы для станков с расстоянием от оси шпинделя до станины от 200 до 300 мм. Принципиальным отличием установок УФЛ-03, УФЛ-04 и УФЛ-04М является обеспечение линейного контакта медьсодержащего круга с обрабатываемой деталью, что позволяет существенно (до 20 раз) повысить скорость обработки.

В зависимости от вида материала плунжера в качестве технологической жидкости используются следующие среды:

Таблица 1. Выбор технологической среды в зависимости от материала плунжера

Материал плунжера (материал покрытия)	Раствор технологической среды
1. Стали 35, 45, 40X и т.д.	50 % Глицерина + 50% масла распределителя
2. Стали 15, 15X, 20, 20X и т.д.	50 % Глицерина + 50% масла распределителя
3. Стали 30ХГСА и сложеннолегированные стали	40 % Глицерина + 25% масла распределителя + 25 % соляной кислоты
4. Стали с гальваническим покрытием	20 % Глицерина + 20% масла распределителя + 60 % соляной кислоты

При использовании в процессе обработки водных растворов глицерина или соляной кислоты обработанную деталь необходимо консервировать во избежание образования оксидных пленок на поверхности. Одним из лучших консерваторов является смесь масла распределителя с раствором олеиновой кислоты.

Материалом инструмента служат медь и ее сплавы. В работе [1] установлено, что для сталей 15, 15X, 20, 20X, 35, 45, 40X лучшие результаты по формированию покрытий и их износостойкости обеспечивает медный сплав с содержанием цинка 35...42%. Использование инструмента с пористым порошковым покрытием на основе латуни ЛС59-1 позволяет улучшить условия образования покрытия и повысить его сплошность [6]. При обработке технологическая среда имеет возможность проникать в поры инструмента, что ускоряет восстановительный процесс и процесс переноса частиц инструмента в технологическую среду.

После нанесения покрытия плунжер необходимо притереть с корпусом до шероховатости Ra 0,125...0,630 мкм без использования абразивных сред.

В УО «ПГУ» разработана технологическая инструкция по фрикционному латунированию плунжеров гидравлических устройств, учитывающая основные моменты по выбору материалов инструмента, среды, режимов нанесения покрытия и других факторов.

Испытания гидравлической плунжерной пары

Пневматические испытания герметичности. Для определения герметичности системы «плунжер-корпус» проводят измерения давления при нагнетании воздуха компрессором через рабочие полости распределителя или клапана в различных положениях. Давление оценивают по манометру. Снижение давления ниже нормативного более чем на 15 % свидетельствует о нарушении герметичности в соединении.

Гидравлические испытания распределителей проводят на контрольно-испытательном стенде. На входе и выходе исследуемой магистрали по показаниям манометров определяют давление масла. Снижение давления масла для различных плунжеров не должно превышать 10...15 %.

Триботехнические испытания образцов, изготовленных из чугуна СЧ18 (колодка), закаленной цементированной стали 20X (диск без покрытия) и стали 20X с многослойным покрытием (диск с покрытием) проводили на машине трения МИ-1М по схеме «диск-колодка». Для интенсификации изнашивания испытания на износо-

стойкость проводили в отсутствии смазочного материала, при высокой скорости $V = 0,785 \text{ м/с}$ ($n = 300 \text{ об/мин}$) и скачкообразном росте нагрузок и температуры. Трибосистема в подобных условиях имитирует реальную пару трения скольжения в режиме масляного «голодания», при пусках и остановках. Нагружение образцов проводили поэтапно, увеличивая нагрузку на 0,57 МПа через равные промежутки времени 4 мин.

Начало схватывания образцов определяли по резкому возрастанию момента силы трения на диаграмме машины трения без приложения дополнительной нагрузки и резкому повышению температуры образцов. Нагрузку, соответствующую возникновению задира, считали предельной нагрузкой. Относительную износостойкость образцов оценивали по массовому износу дисков и колодок и вычисляли по формуле:

$$\epsilon_{\text{отн}} = \frac{\Delta m_0}{\Delta m}, \quad (1)$$

где Δm_0 и Δm – относительный массовый износ диска (колодки) без и с покрытием диска.

Результаты испытаний. Испытания упрочненных плунжерных пар на герметичность подтвердили их годность к эксплуатации. Финишная антифрикционная безабразивная обработка плунжера позволила повысить герметичность пары трения на 5...12 %.

Проведенные испытания на машине трения показали, что упрочнение плунжера с помощью ФАБО увеличивает предельную нагрузку схватывания цементированного и закаленного образца примерно на 25...30 % и увеличивают время наступления критического состояния пары трения в отсутствии смазочного материала на 35 %.

Относительная износостойкость образцов с нанесенным покрытием составила 1,8...2,8 (за единицу принята износостойкость цементированного и закаленного плунжера). Не менее важным результатом оказалось также повышение относительной износостойкости колодок в 1,9...3,9 раза.

Расчет экономической эффективности нанесения финишного антифрикционного покрытия на поверхность плунжеров гидрораспределителей.

Принимая во внимание, что трудозатраты на замену детали при ремонте гидрораспределителя малы по сравнению со стоимостью самих плунжеров, технико-экономическую эффективность нанесения антифрикционных покрытий можно выразить следующим образом [7, 8]:

$$\Xi = \frac{\left(\frac{C_1 \cdot T_2}{T_1} - C_2 \right) n}{(C_2 - C_1)n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где C_1 ; C_2 – стоимость соответственно базового плунжера и плунжера с покрытием;

T_1 ; T_2 – срок эксплуатации базового плунжера и плунжера с покрытием;

n – количество деталей.

Таблица 2. Экономические показатели применения ФАБО плунжеров гидравлических распределителей

№	Наименование показателя	Размерность	Значение
1	Удельные затраты на материалы Z_M	руб./м ²	6000
2	Удельные затраты на электроэнергию $Z_{\text{Э}}$	кВт·час/м ²	1,5
3	Производительность процесса Pr	м ² /час	0,1...8,0
4	Себестоимость нанесения покрытия $C_{\text{Г}}$	руб./м ²	45000...60000

Считая, что увеличение времени наступления критического состояния пары трения в отсутствии смазочного материала прямо пропорционально сроку эксплуатации распределителя, заменяем

Таблица 3. Расчет технико-экономической эффективности применения ФАБО для исследуемых плунжеров

Наименование детали	Тип производства и объём выпуска деталей	Производственная себестоимость изготовления серийной детали, руб.	Производственная себестоимость нанесения покрытий, руб.	Достижимый технический результат	Экономическая эффективность Ξ
Плунжер распределителя HV05 манипулятора Liv-7.1 (НПО «Партнер»)	Мелкосерийный N= 500 шт/год (с учётом однотипных плунжеров)	30000	1500	Увеличение периода стойкости в 1,35 раза ($K=1,35$); повышение герметичности на 6...8%; улучшение приработки при стендовых испытаниях	600
Плунжер распределителя P75 (ОАО «Городогский райагропромснаб»)	Мелкосерийный N= 30 шт/месяц (сезон март-октябрь)	8000	1200	Увеличение периода стойкости в 1,35 раза ($K=1,35$); повышение герметичности на 7...12%; улучшение приработки при стендовых испытаниях	133,3
Плунжер клапана холостого хода Усл. № 545 для путевого моторно-рельсового транспорта (РУП «140 ремонтный завод» г. Борисов)	Мелкосерийный N= 400 шт/год (с учётом однотипных плунжеров)	9000	1100	Увеличение периода стойкости в 1,35 раза ($K=1,35$); повышение герметичности на 5...12%; улучшение приработки при стендовых испытаниях	186,3

отношение T_1/T_2 коэффициентом увеличения периода стойкости пары трения с нанесенным покрытием K , который в соответствии с экспериментальными данными, приведенными выше, в среднем для пары трения плунжер-корпус равен 1,35.

По результатам применения технологии ФАБО при обработке плунжеров укрупнено рассчитали экономические показатели фрикционно-механического нанесения антифрикционных покрытий (таблица 2).

При расчёте себестоимости учитывали основные статьи затрат, такие как затраты на материалы, электроэнергию, оплату труда и отчисления от оплаты труда, общепроизводственные расходы (500 % от фонда заработной платы) и затраты на амортизацию оборудования. Цены взяты по состоянию на 1 сентября 2008 года.

Расчетные данные показывают, что увеличение ресурса плунжерной пары оправдывает дополнительные затраты на использование дополнительной операции в производственном процессе. Экономическая эффективность принятого технического решения по упрочнению плунжерной пары составляет 186-600 %. Причем, применение ФАБО особенно эффективно для более сложных и дорогих в изготовлении плунжеров, т.к. в этих случаях снижаются удельные затраты на нанесение антифрикционного покрытия.

Заключение. Установлено, что нанесение антифрикционных медьсодержащих покрытий трением на плунжеры гидравлических распределителей позволяет повысить герметичность пары трения на 5...12 %, увеличить предельную нагрузку схватывания на 25...30 % и повысить время наступления критического состояния пары трения на 35 % при самом неблагоприятном режиме в отсутствии смазывания узла.

Износостойкость плунжеров с нанесенным покрытием увеличилась в 1,8...2,8 раза. Не менее важным результатом оказалось также повышение относительной износостойкости контртела в 1,9...3,9 раза.

Проведенный расчет затрат на проведение дополнительной финишной операции показал, что финишная антифрикционная безабразивная обработка плунжеров увеличивает триботехнические и эксплуатационные показатели, а следовательно и ресурс гидрораспределителя. Экономическая эффективность принятого техническо-

го решения по упрочнению плунжерной пары составляет 186-600 %. При этом применение ФАБО оказывается более эффективным для более сложных и дорогих в изготовлении плунжеров, т.к. в этих случаях снижаются удельные затраты на образование антифрикционного покрытия.

Работа выполнена в рамках задания 5.12 ГКПНИ "Наноматериалы и нанотехнологии" "Исследование и разработка нанокристаллических многослойных покрытий для прецизионных деталей трибосопряжений".

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лукашок А.Н. Повышение износостойкости прецизионных пар трения скольжения фрикционно-механическим нанесением покрытий на основе медно-цинковых сплавов. Диссертация на соискание степени магистра технических наук. - Новополоцк, 2005. - 73 с.
2. Константинов В.М., Лукашок А.Н., Тихонов П.В. Тонкая структура многослойного покрытия триботехнического назначения // Вестник ПГУ, серия фундаментальные науки, №10 - 2005. - С. 90-94.
3. Гаркунов Д.Н.. Триботехника. Износ и безызносность: - М.: МСХА, 2001. - 616 с.
4. Константинов В.М. Лукашок А.Н. Патент № 1439. МПК С23С 26/00. Устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий.
5. Константинов В. М., Лукашок А.Н. Патент РБ № 2154, МПК С23С 26/00. Устройство для фрикционно-механического нанесения покрытий. Оpubл. в официальном бюллетене РБ №3(46), С.65, 2005.
6. Лукашок А.Н., Константинов В. М. Патент РБ № 4566, МПК С23С 26/00. Инструмент для формирования антифрикционных покрытий трением. Заявка №И20070865 от 03.12.2007.
7. Ивашко В.С., Спиридонов Н.В., Королько А.А. и др. К вопросу определения экономической эффективности покрытий из самофлюсующихся твердых сплавов, нанесенных методом напыления // Машиностроение, 1980, вып. 4. - С. 80-83.
8. Ивуть Р.Б., Кабаков В.С. Экономическая эффективность ремонта машин и оборудования. - Мн., 1988.

Материал поступил в редакцию 16.10.08

LUKASHOK A.N., KONSTANTINOV V.M. THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICACY OF FORMING OF ANTIFRICTION CU-CONTAINING COATINGS AT THE VALVES OF HYDRO DISTRIBUTORS BY MEANS OF FRICTION WAY

The technical and economic efficiency of antifriction Cu-containing coatings forming at the valves of hydro distributors by means of friction way is calculated in this paper. It is established that forming of the specified coverings allows to increase impenetrability of friction pair on 5 ... 12 %, to increase extreme sticking load on 25 ... 30 % and to increase time of critical condition of friction pair approach on 35 % in the most unfavorable mode during greasing absence.

The coating provides high anti-tearing surfaces properties, improves impenetrability of friction pair and valve grind ability within the frame. The equipment providing high productivity of coating formation is developed.