

**Кубич В.И.,
Ивченко Л.И.**

Запорожский национальный технический
университет

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ
ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ
«ШЕЙКА-ВКЛАДЫШ» С
МЕДСОДЕРЖАЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ**

Постановка проблемы

Износостойкость трибосопряжений типа «шейка-вкладыш», составляющих группу одноименных сопряжений коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания, во многом определяется как свойствами материалов приповерхностных слоев их элементов, так и видами трения по наличию в зоне контакта смазочного материала – моторного масла [1].

Результаты предыдущих исследований показали, что одним из направлений повышения износостойкости сопряжений такого рода является формирование на поверхности шеек фрикционно-механическим способом исходного медьсодержащего покрытия из комплекса материалов в составе: оловянистая бронза БрОФ4-0,25, поверхностно-активная среда %, (ат.) галлий 81, индий 19. Значения триботехнических характеристик были получены на модельных образцах. Триботехнические испытания проводились по схеме «ролик-колодка» с целью определения значимого состава галлиево-индиевой среды. При этом ролики изготавливались из стали 45ХН2МФА, $d = 50$ мм, шероховатость поверхности $Ra = 1,25$ мкм, колодки - из высокооловянистого алюминия АО20-1 ГОСТ 14113-78, материал основы сталь 08кп ГОСТ 1050-88, номинальная площадь контакта 120 мм^2 , давление в контакте 0,9 МПа, частота вращения ролика 320 мин^{-1} [2 - 4].

В соответствии с этим наибольший интерес представляет характер поведения триботехнических характеристик сопряжений с предлагаемым исходным покрытием, но уже при изменении нагружения и режимов смазывания в зоне трения, т.е. в условиях масляного голодания и проявления антифрикционных свойств покрытия. Особенно важно получить такую картину, но характерную для натуральных образцов элементов трибосопряжений, вырезанных из деталей двигателей, например рядных ЗМЗ, V-образных ЗИЛ и смоделировать их контактное взаимодействие, близкое к эксплуатационным режимам работы. Однако такие сведения при использовании вышеуказанных компонентов покрытий пока отсутствуют.

Данный факт вызывает необходимость в проведении испытаний на износостойкость трибосопряжений «шейка-покрытие-вкладыш» с предлагаемым составом материалов исходного покрытия.

Полученные результаты позволят оценить характер изменения триботехнических характеристик натуральных сопряжений при проявлении свойств покрытия.

Методы исследования

Для проведения триботехнических испытаний ТС использовалась машина испытания материалов на трение и изнашивание СМЦ-2 с электроприводом ЭКТ 20/380, для бесступенчатого изменения частоты вращения приводного вала машины, модернизированная компьютерной системой регистрации и обработки сигнала: усилитель сигнала от индуктивного датчика верхнего вала; аналого-цифровой преобразователь АЦП Е14-140; ноутбук ASUS K401J с программным обеспечением регистрации сигнала LGraph и его обработки PowerGraph 3.3 Demo, рис. 1.

Для проведения испытаний использовались две партии образцов-шеек с покрытиями, по шесть в каждой, образцы-шейки без покрытия, а также цельные вкладыши. Испытания проводились в соответствии с разработанным циклом, численные значения параметров приведены в табл.1 [5]. Покрытия формировались в процессе фрикционно-механической обработки поверхности шеек прутком из бронзы БрОФ4-0,25 в поверхностно-активной среде с содержанием компонентов: галлий 81 % (ат.), индий 19 % (ат.). Материал образца шейки ЗМЗ чугун ВЧ50, образца шейки ЗИЛ сталь 45. В качестве образцов-вкладышей использовались цельные сталеалюминевые вкладыши с антифрикционным сплавом АО20-1, материал основы сталь 0,8 кп.

Образцы-шейки устанавливались на переходной вал, закрепленный на нижнем валу машины СМЦ-2, переходной посадкой, от поворота фиксировались шпоночным соединением, от осевого смещения гайкой. Предварительно в каждой шейке выполнялись отверстия соответствующего размера. Вкладыши устанавливались в держателях, представляющих собой крышки нижних головок шатунов соответствующих моделей двигателей. В крышке высверливались отверстия для подачи масла под рабочую поверхность вкладыша через его технологическое отверстие, а также отверстие для установки термомпары в теле вкладыша. На тыльной части крышки выполнялся цилиндрический паз под ролик, которым держатель вкладыша нагружающим устройством прижимался к образцу-шейке. В каждом вкладыше с тыльной стороны высверливались глухие отверстия для ввода спайки термомпары. Вкладыш устанавливался в держателе с технологическим натягом. Ремонтный размер вкладыша выбирался на один размер меньше,

относительно ремонтного размера шлифованной шейки. Это позволило обеспечить наличие клинородного зазора между шейкой и вкладышем, в который подавалось масло. Величина зазора составляла 0,13-0,15 мм по нижней плоскости держателя. Порядок установки образцов приведен на рис. 2.

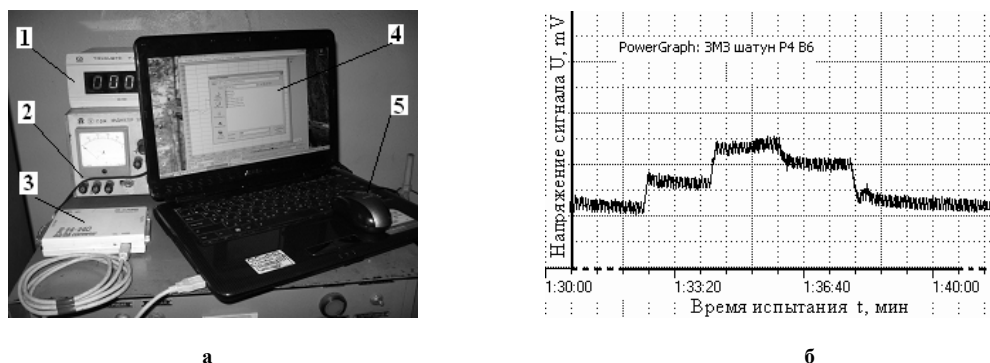


Рис. 1 – Компьютерная система регистрации сигнала: а - вид приборов:
1 – указатель тахометра; 2 – блок питания усилителя;
3 – аналого-цифровой преобразователь сигнала; 4 – окно программного управления;
5 – ноутбук; б – фрагмент трибограммы

Таблица 1

Численные значения параметров цикла испытаний трибосопряжений

| Режим | Нагрузка P , Н (p , МПа) | | Время испытаний t , мин | | Общее время t , мин | |
|---|-------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | образец-шейка ЗИЛ | образец-шейка ЗМЗ | образец-шейка ЗИЛ | образец-шейка ЗМЗ | образец-шейка ЗИЛ | образец-шейка ЗМЗ |
| I – установка образцов, включение подачи масла, включение привода, приработка, нагружение - разгружение | | | | | | |
| 1 | 250 (0,46) | 250(0,69) | 15 | | 15 | |
| 2 | 300 (0,55) | 200(0,83) | 5 | | 20 | |
| 3 | 380 (0,7) | 380(1,05) | 5 | | 25 | |
| 4 | 480 (0,9) | 480(1,32) | 10 | | 35 | |
| 5 | 570 (1,05) | 570(1,57) | 3,3 | 2,5 | 38,3 | 37,5 |
| 6 | 660 (1,22) | 660(1,82) | 3,3 | 2,5 | 41,6 | 40 |
| 7 | - | 890(2,46) | - | 2,5 | - | 42,5 |
| 8 | - | 660(1,82) | - | 2,5 | - | 45 |
| 9 | 570(1,05) | 570(1,57) | 3,3 | 2,5 | 44,9 | 47,5 |
| 10 | 480(0,9) | 480 (1,32) | 5 | 2,5 | 50 | 50 |
| 11 | 380(0,7) | 380 (1,05) | 10 | | 60 | |
| II – остановка подачи масла, нагружение | | | | | | |
| 1 | 380 (0,7) | 380 (1,05) | 10 | | 70 | |
| 2 | 480 (0,9) | 480 (1,32) | 5 | | 75 | |
| III – подача масла, разгружение-нагружение-разгружение | | | | | | |
| 1 | 480(0,9) | 480(1,32) | 10 | | 85 | |
| 2 | 250(0,46) | 250(0,69) | 5 | | 90 | |
| 3 | 480(0,9) | 480(1,32) | 3,3 | | 93,3 | |
| 4 | 750 (1,33) | 750 (2,07) | 3,3 | | 96,6 | |
| 5 | 570(1,05) | 570(1,57) | 3,3 | | 99,9 | |
| 6 | 250(0,46) | 250(0,69) | 5 | | 105 | |
| IV – выключение привода, остановка подачи масла, разборка ТС | | | | | | |

В качестве смазочного материала использовалось моторное масло LUKOL-STANDARD SAE 15W/40 SF/CC. Для измерения температуры в зоне трения использовался мультиметр DT-835 с термопарой TP-01A с диапазоном измеряемых температур: $-18 \sim 712$ °C.

Момент трения регистрировался с помощью компьютерной системы. По записанным трибограммам с учетом тарировочного графика (масштаб 0,25 V - 0,270 Н·м; 1 мм - 0,054 Н·м), нагружения образцов, их геометрических размеров сигнал пересчитывался в коэффициент трения. Точность измерения составляла $\Delta_f = 1$ мм, что в пересчете на значения коэффициента трения составляло $\Delta_f^1 = 0,003$.

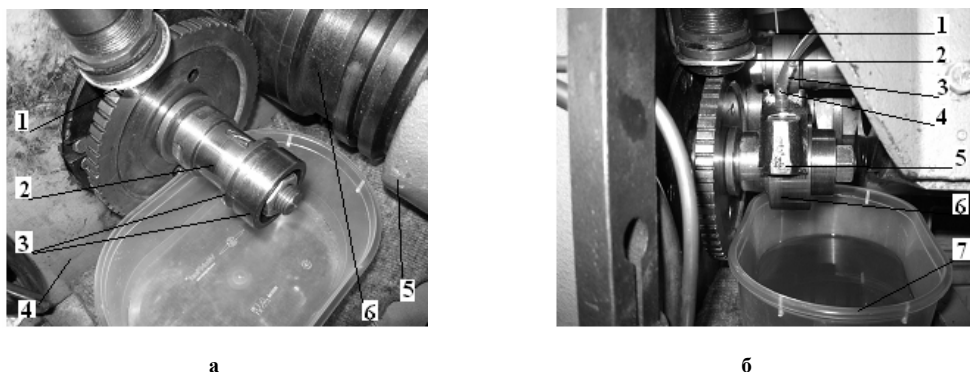


Рис. 2 – Установка образцов:

а – установка переходного вала под образец-шейку:

1 – датчик тахометра; 2 – переходной вал; 3 – установочные шайбы;
4 – корпус нижнего вала; 5 – корпус каретки; 6 – корпус вала каретки;

б – узел испытания образцов:

1 – провод термопары; 2 – датчик тахометра; 3 – ролик верхнего вала; 4 – трубка подвода масла;
5 – держатель вкладыша с вкладышем; 6 – образец-шейка; 7 – ванна с маслом

Интенсивность изнашивания образцов, износостойкость сопряжений, линейный износ, величина пути трения определялась расчетным путем [6]. Линейный износ образцов определялся графическим способом на основе анализа профилограмм, которые снимались на профилографе-профилометре «Калибр 170311» с использованием компьютерной системы регистрации и обработки сигнала. Для анализа использовались по три профилограммы для образцов-вкладышей, по четыре профилограммы для образцов-шеек снятые по всей контактной поверхности в разных сечениях до испытания и после него. Точность измерения составляла 0,5 мм, что соответствовало точности определения линейного износа – 0,025 мкм.

Длина пути трения с учетом времени испытания трибосопряжений – $t = 105 \pm 0,1$ мин, частоты вращения образца-шейки – $n = 675 \pm 10$ мин⁻¹, геометрических размеров образцов-шеек: $R_1 = 0,0284$ м; $R_2 = 0,0315$ м в соответствии составила: $L_{mp1} \approx 12640$ м; $L_{mp2} \approx 14020$ м. Средняя величина площади трения при испытании по условиям контакта при испытаниях для трибосопряжений из образцов элементов конструкции двигателя ЗИЛ составила $S_2 = 5,4 \cdot 10^{-4}$ м², из образцов ЗМЗ – $S_1 = 3,6 \cdot 10^{-4}$ м².

Результаты исследований и обсуждение

В табл. 2 приведены результаты расчетов параметров изнашивания элементов трибосопряжений.

Таблица 2

Величины линейного износа элементов трибосопряжений

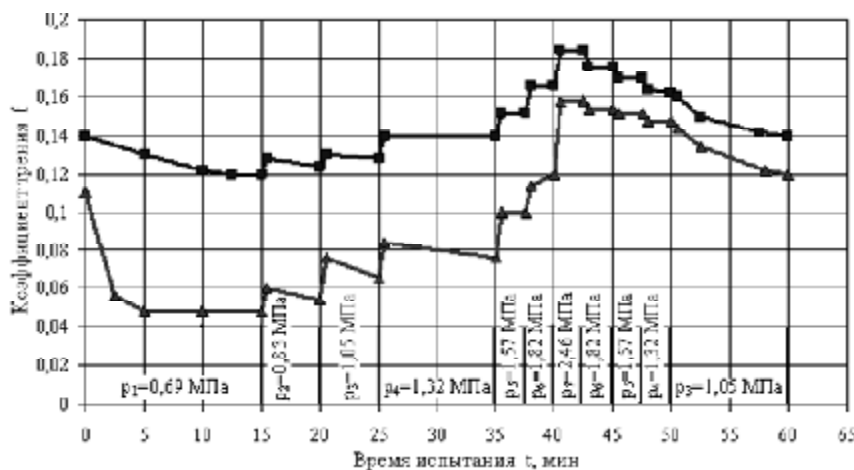
| Наименования | Линейный износ \bar{h} , мкм; среднеквадратическое отклонение σ , мкм | | Интенсивность изнашивания, I_h | | Износостойкость I_{1-2} , 10 ⁶ |
|--|--|--------------|-------------------------------------|----------------------|--|
| | Шейка | Вкладыш | Шейка | Вкладыш | |
| Сопряжения с образцами ЗМЗ без покрытия | 3,1 0,21 | 105,5 7,1 | $0,24 \cdot 10^{-9}$ | $0,83 \cdot 10^{-8}$ | 116 |
| Сопряжения с образцами ЗМЗ с покрытием | 1,82 0,14 | 66,4 6,4 | $0,14 \cdot 10^{-9}$ | $0,52 \cdot 10^{-8}$ | 185 |
| Сопряжения с образцами ЗИЛ без покрытия | 3,2 0,21 | 98,0 7,4 | $0,23 \cdot 10^{-9}$ | $0,7 \cdot 10^{-8}$ | 138 |
| Сопряжения с образцами ЗИЛ с покрытием | 1,71 0,14 | 56,4 8,2 | $0,12 \cdot 10^{-9}$ | $0,4 \cdot 10^{-8}$ | 240 |

Их анализ свидетельствует о том, что при данных условиях триботехнических испытаний:

- интенсивность изнашивания для шеек образцов ЗМЗ с покрытиями уменьшилась в 1,71 раза, для образцов ЗИЛ в 1,91 раза;
- интенсивность изнашивания для вкладышей образцов ЗМЗ с покрытиями уменьшилась в 1,6 раза, для образцов ЗИЛ в 1,75 раза;
- износостойкость ТС для образцов ЗМЗ увеличилась в 1,6 раза, для образцов ЗИЛ в 1,74 раза.

На рис. 3 а, б, 4, 5, а, б, 6 приведены графики зависимости коэффициента трения и температуры в зоне трения образцов на протяжении времени испытаний в зависимости от величины давления в зоне трения и режимов смазывания. Полученная картина свидетельствует о следующем.

С первых минут контактного взаимодействия значения коэффициента трения в сопряжениях с покрытиями меньше, чем в сопряжениях без покрытий: для образцов ЗМЗ в 1,27 раза, для образцов ЗИЛ в 1,46 раза. Отличия в таких значениях, вероятно, обусловлено разными площадями трения для сопряжений с покрытиями, а также выравниванием геометрии микропрофиля поверхности шеек покрытием. Начальная температура в зоне контакта поверхностей составляла для обоих сопряжений $\sim 40^\circ\text{C}$. Стабилизация коэффициента трения для сопряжений с покрытием, при прирабатываемости с минимальной нагрузкой к 15 минуте испытаний, для образцов ЗМЗ наступает быстрее в 2,6 раза, для образцов ЗИЛ в 3,3 раза, чем для них без покрытия. Характер изменения линии коэффициента трения для сопряжений с покрытием более резкий, для сопряжений без покрытия пологий. Значения температуры также меньше для обоих сопряжений в $\sim 1,12$ раза.



- в периоде с 25 по 30 минуту коэффициент трения для образцов без покрытия не изменялся, а для образцов же ЗМЗ с покрытием незначительно уменьшился, для образцов ЗИЛ – незначительно увеличился, что возможно обуславливалось иным характером поведения молекулярной составляющей коэффициента трения. Уменьшение коэффициента трения в сопряжениях с покрытием составило для образцов ЗМЗ 1,8 раза, для образцов ЗИЛ – 1,14 раза. Пропорциональность в соотношении температур оставалась прежней. В целом коэффициент трения для образцов ЗМЗ составлял 0,078, для образцов ЗИЛ - 0,154, температура ~ 70 °С и ~ 106 °С соответственно. Такой факт явно свидетельствует о неоднозначности термомеханических процессов происходящих в поверхностных слоях материалов контактируемых поверхностей. При чем удельное давление в зоне контакта для образцов ЗИЛ меньше, чем для образцов ЗМЗ.

- в периодах испытания с 35 по 50 минуту при достижении максимального давления в зоне контакта значения коэффициента трения для образцов ЗМЗ с покрытиями были меньшими в 1,15 раза, для образцов ЗИЛ – в 1,21 раза, что соответствовало незначительно, но большим значениям температур в зоне контакта ЗМЗ - ~ 132 °С, ЗИЛ - ~ 148 °С, по отношению к сопряжениям без покрытий - ~ 124 °С; ~ 142 °С. При чем скорость увеличения температуры в сопряжениях с покрытием с 35 минуты стала большей чем в сопряжениях без покрытия, и их графики пересеклись для обоих образцов на 40-й минуте испытаний. Обнаруженный факт указывает на особенности протекания термомеханических, а возможно и химических процессов в покрытии, вызванных увеличением давления в зоне трения поверхностей.

- в период с 50 по 60 минуту наблюдалось первоначальное (в течении ~ 1,5-2 минут) более резкое снижение коэффициента трения для сопряжений с покрытиями, с дальнейшим снижением до значений для обоих образцов до ~ 0,12, что в 1,17 раза меньше по отношению к образцам без покрытия – 0,14. Температура в зоне трения составляла для образцов ЗМЗ - ~ 100 °С, для ЗИЛ - ~ 115 °С, что в 1,13 и 1,2 раза меньше, по отношению к образцам без покрытия.

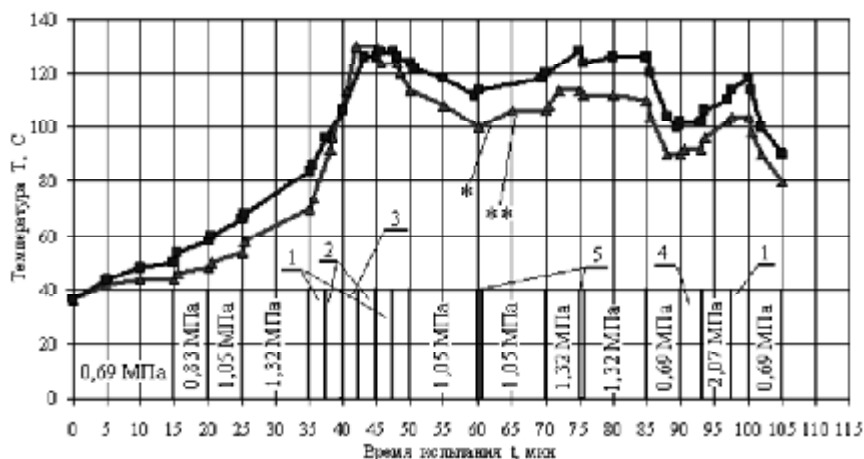


Рис. 4 – Зависимость температуры зоны контакта элементов трибосопряжений двигателя ЗМЗ от времени испытания в условиях смены режимов смазывания:

■ – сопряжения без покрытия; ▲ – сопряжения с покрытием;

* – начало образования видимого «выделенного состава»;

** – визуально постоянно наблюдаемый налет «выделенного состава»;

1, 2, 3, 4 – интервалы времени с давлением в зоне трения 1,57 МПа, 1,82 МПа, 2,46 МПа, 1,32 МПа соответственно;
5 – интервал времени испытания без подачи масла

Далее в соответствии с циклом испытания, табл.1, была прекращена подача масла в зону трения, испытания продолжались при давлении для образцов ЗМЗ – 1,05 МПа, для образцов ЗИЛ – 0,7 МПа, которые затем увеличились через 10 минут до 1,32 МПа и 0,9 МПа соответственно. Для образцов с покрытиями в течении 3-4 минут наблюдался рост коэффициента трения и температуры, при этом в течении первых 1,0-1,5 минут на поверхности шеек начинал образовываться налет темного цвета, плотность и однородность обволакивания поверхности трения которой становилась стабильной к 6 минуте. Увеличение коэффициента трения составило для образцов ЗМЗ с 0,12 до 0,124, для ЗИЛ с 0,122 до 0,136 с ростом температуры с ~ 100 °С до ~ 108 °С и с ~ 115 °С до ~ 122 °С. Далее происходило снижение коэффициентов трения для образцов с покрытиями до 0,11, его стабилизации в течении 3-4 минут, с установившейся температурой 108 °С и ~ 122 °С. Постоянство коэффициента трения в сопряжениях сохранялось в периоде с 6 до 8 минут испытания, затем наблюдался его незначительный рост до 0,12 при постоянной все той же температуре. С 10 минуты нагрузка увеличилась, давления в зоне трения составили соответственно 1,32 МПа для образцов ЗМЗ и 0,9 МПа для образцов ЗИЛ. При этом наблюдалось относительное постоянство коэффициента трения для обоих образцов в течении 2,5 - 3,0 минут при росте температуры до ~ 114 °С и до ~ 132 °С. Далее вновь рост коэффициента трения для образцов ЗМЗ до 0,126, для образцов

ЗИЛ до 0,14 с постоянством температуры. Факт такого изменения коэффициента трения и температуры в зоне трения указывает на сохраняемость покрытия на поверхности шеек и на протекание комплекса структурных превращений в поверхностных слоях, обуславливающих процессы структурной приспособляемости материалов к условиям трения.

Для образцов без покрытия картина совершенно иная. На первых минутах наблюдается рост коэффициента трения, при чем с постоянным его увеличением до больших значений: для образцов ЗМЗ с 0,14 до 0,16, для образцов ЗИЛ с 0,14 до 0,178 с его стабилизацией к 8-9 минуте испытаний, при постоянном росте температуры. Имеет место амплитудный характер изменения коэффициента трения, что обусловлено, вероятнее всего, свойствами антифрикционного слоя вкладыша выделять в зону трения олово, выступающее в роли смазывающего состава. В последующем при увеличении нагрузки коэффициент трения достаточно высокий: 0,16 для образцов ЗМЗ, 0,17 для образцов ЗИЛ остается постоянным при продолжающемся росте температуры до $\sim 130^\circ\text{C}$ и $\sim 142^\circ\text{C}$ соответственно.

Такое поведение обуславливается в первую очередь влиянием олова как приработочного материала.

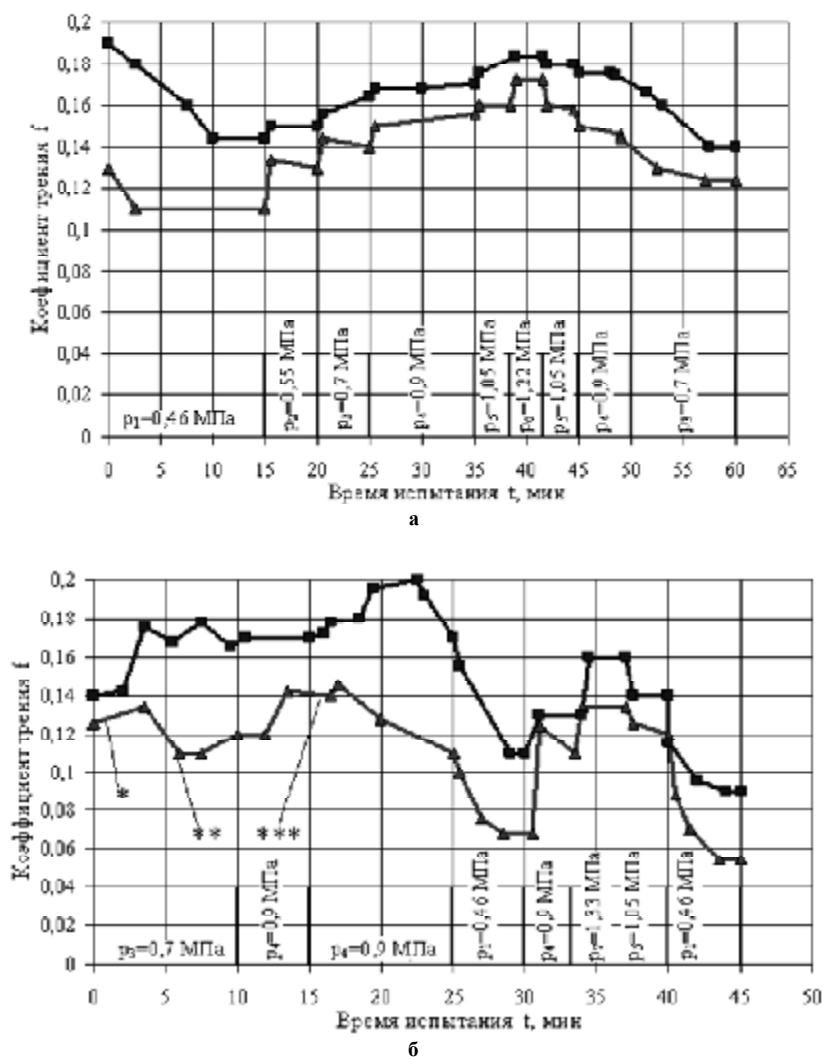


Рис. 5 – Зависимость коэффициента трения от времени испытания элементов трибосоприжений двигателя ЗИЛ по зонам нагружения:

а – в условиях подачи масла в зону трения; б – в условиях прекращения подачи масла с последующей его подачей;

■ – сопряжения без покрытия; ▲ – сопряжения с покрытием;

* – начало образования видимого «выделенного состава»;

** – визуально постоянно наблюдаемый налет «выделенного состава»;

*** – визуально не наблюдаемый «выделенный состав»

В целом в таких условиях испытаний уменьшение коэффициентов трения и температур трибосоприжений с покрытиями по отношению к трибосоприжениям без покрытий для образцов ЗМЗ составило 1,45 раза, 1,15 раза, для образцов ЗИЛ - 1,54 раза, 1,16 раза соответственно.

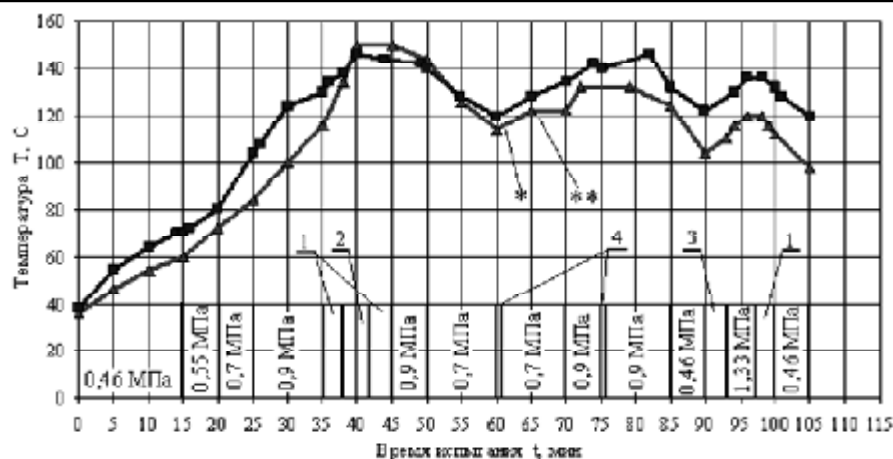


Рис. 6 – Зависимость температуры зоны контакта элементов трибосопряжений двигателя ЗИЛ от времени испытания в условиях смены режимов смазывания:
 ■ – сопряжения без покрытия; ▲ – сопряжения с покрытием;
 * – начало образования видимого «выделенного состава»;
 ** – визуально постоянный налет «выделенного состава»;
 1, 2, 3 – интервалы времени с давлением в зоне трения 1,05 МПа, 1,22 МПа; 0,9 МПа соответственно;
 4 – интервал времени испытания без подачи масла

При наблюдении за процессом образования «выделенного состава» - испытания с прекращением подачи масла на поверхности шеек и характером изменения коэффициента трения было замечено, что в достаточно малые периоды времени 15 - 25 с коэффициент трения то уменьшался, то увеличивался, т.е. имел колебания относительно среднего значения. В качестве примера на рис. 7, а, б приведены фрагменты регистрируемого сигнала сопротивления вращению шейки образца ЗИЛ (номер ТС Р21В12), на общем фоне (по верхнему краю) которого выделены характерные участки. В период испытания с 6 до 8 минуты при давлении 0,7 МПа и в период с 10 по 12 минуту при давлении 0,9 МПа коэффициент трения изменялся соответственно в пределах 0,1 - 0,09 и 0,1 - 0,12. На графике рис. 5, б эти участки изображены прямыми, учитывая масштабный фактор времени. Для остальных трибосопряжений - как для образцов ЗИЛ, так и для образцов ЗМЗ наблюдалась аналогичная картина. Данный факт свидетельствует о протекании комплекса превращений в контактируемых слоях, свойственных структурной приспособляемости. Это в полной мере обуславливает формирование вторичных структур.

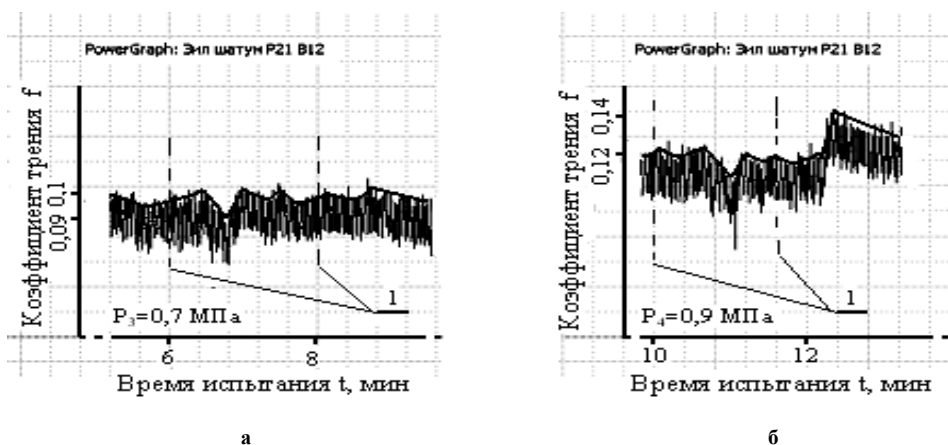


Рис. 7 – Фрагменты зависимостей коэффициента трения от времени на участках испытания трибосопряжений без подачи масла:
 а – первый участок испытания без подачи масла, давление в зоне трения 0,7 МПа;
 б – второй участок испытания без подачи масла, давление в зоне трения 0,9 МПа;
 1 – интервалы амплитудного изменения коэффициента трения

При возобновлении подачи масла в зону трения для трибосопряжений без покрытий наблюдался рост и коэффициента трения и температуры: для образцов ЗМЗ до 0,17, для образцов ЗИЛ до 0,2 с последующей стабилизацией на протяжении 3 - 4 минут испытаний и дальнейшем снижении, по условиям образования граничного трения, до 0,14 и 0,17 соответственно. Для образцов с покрытием коэффициент

трения в течении 1,5 - 2,0 минут оставался постоянным при постоянстве температуры. В это же время наблюдалось исчезновение окраски «выделенного состава», вероятнее всего основная часть химических элементов образовавшихся структур оставались в зоне трения, а химические элементы, обуславливающие окраску «состава» уносились маслом. По истечении этого времени наблюдался незначительный скачок вверх значения коэффициента трения, более выражено для образцов ЗИЛ, с резким снижением коэффициента трения до значений для образцов ЗМЗ - 0,09, для образцов ЗИЛ - 0,11, медленным снижением температуры до ~ 108 °С для образцов ЗМЗ, и ~ 121 °С для образцов ЗИЛ. Такие значения коэффициентов трения в 1,55 раза меньше чем у образцов без покрытия.

С уменьшением нагрузки скорость изменения и коэффициента трения и температуры для сопряжений с покрытиями несколько больше чем без них, установившийся режим наступает на 1,5 минуты раньше. Уменьшение коэффициента трения для обоих образцов составляет 2,2 раза, при снижении температур в зоне трения до ~ 90 °С для образцов ЗМЗ, и до ~ 102 °С для образцов ЗИЛ.

При последующем ступенчатом нагружении вновь наблюдалась способность покрытия, обуславливать снижение сопротивления относительному перемещению, демпфированию нагрузки, что выражалось в снижении коэффициента трения, при чем при меньших нагрузках с большей скоростью. В сопряжениях без покрытия коэффициенты трения как уменьшались незначительно – образцы ЗМЗ, так и вовсе не изменялись – образцы ЗИЛ. Уменьшение коэффициента трения при максимальном давлении составило для образцов ЗМЗ в 1,5 раза, для образцов ЗИЛ – в 1,21 раза.

При окончательном уменьшении нагрузки до минимальных значений вновь скорость изменения и коэффициента трения и температуры для сопряжений с покрытиями несколько больше чем без них, установившийся режим наступает на 1,5 минуты раньше, а по окончании испытаний уменьшение коэффициента трения для обоих образцов ЗМЗ составило в ~1,63 раза, при температурах ~ 80 °С и ~ 98 °С, что в ~ 1,2 раза меньше чем у сопряжений без покрытия.

Выводы

В результате проведенных триботехнических испытаний для трибосопряжений с исходным покрытием выявлены: характер изменения коэффициента трения; температуры в зоне трения; снижение износа контактных поверхностей элементов трибосопряжений, при изменении нагружения и режимов смазывания в зоне трения.

Установлено, что исходное покрытие обуславливает снижение температурной напряженности и механических потерь в трибосопряжениях за счет образования вторичных структур из элементов покрытия и элементов антифрикционного слоя вкладыша при протекании в их приповерхностных контактных слоях структурных превращений.

Литература

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность/ Гаркунов Д.Н. – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с. (Для вузов).
2. Кубич, В.І. Про вплив вмісту компонентів галієво-індієвого середовища на триботехнічні характеристики трибоз'єднання / В.І. Кубич, Л.І. Івщенко // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – № 52. – С. 92-101.
3. Пат. № 49630 Україна, МПК (2009) С23С 30/00. Склад поверхнево-активної речовини для формування зносостійких покриттів/ Кубич В.І., Івщенко Л.І. заявитель і патентовласник Запорізький національний технічний університет. – № u200909788; заявл. 11.05.2010; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9, 2010.
4. Кубич, В.І. Рентгеноспектральний аналіз приповерхностних шарів елементів трибосопряжень/ В.І. Кубич, Л.І. Івщенко // Проблеми трибології. – 2011. – №1(59). – С. 6-11
5. Кубич, В.І. Визначення параметрів контактної взаємодії підшипників ковзання колінчатого вала двигачей внутрішнього згорання./ В.І. Кубич, Л.І. Івщенко // Проблеми трибології. – 2010. – Вип. №2(56). – С. 11-17
6. Методи випробувань на тертя і знос/ Л.І. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова – М: Інтермет інжиніринг, 2001. – 357 с.

Надійшла 05.04.2011