

УДК 621.43.016.4

DOI: 10.20998/0419-8719.2017.2.10

В.В.Белозёров, И.Б.Казак, А.К.Олейник, С.А.Кравченко

ВЛИЯНИЕ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕНИЯ И ИЗНОСА МАТЕРИАЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ-ВКЛАДЫШ ДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА Д100 И Д80

В работе приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия рабочих поверхностей пары трения коленчатый вал – вкладыш. Для повышения триботехнических характеристик трущихся поверхностей антифрикционный слой АМО1-20 стале-алюминиевого вкладыша Д80 методом микродугового оксидирования был преобразован на глубину 20-25 и 60-70 мкм. Испытания образцов проводились на машине трения СМТ-1 и СМЦ-2 по методике ступенчатого нагружения. Полученные результаты показали, что коэффициент трения $f_{тр}$ увеличивается в 3 – 5 раз по сравнению со слоем АМО1-20 без оксидирования, но задир – и износостойкость пары трения существенно возросла.

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач является проблема повышения надежности и долговечности сопряжения коленчатый вал-вкладыш дизелей мощного ряда Д100 и Д80, выпускаемых ГП «Завод им. В.А. Малышева». Как было установлено ранее, наиболее перспективным вариантом для вкладышей подшипников коленчатого вала является изготовление их из биметаллической стале-алюминиевой полосы с антифрикционным слоем из сплава АМО1-20 (медь 1%, Sn 20%). Такого типа вкладыши получили широкое распро-

странение в автотракторной промышленности и на протяжении многих лет эксплуатации показали наиболее высокие характеристики по долговечности, коррозионной и усталостной прочности. Однако опыт их применения в производстве двигателей типа Д100 и Д80 на ГП «Завод им. В.А. Малышева», а также на двигателях энергоагрегатов для специальной техники показал, что надежность сопряжения коленчатый вал-вкладыш является недостаточной и требует существенной доработки. В процессе приработки рабочая поверхность стале-алюминиевого вкладыша имеет недостаточную

стойкость к задирам, что приводит к схватыванию материалов вкладыша и коленчатого вала, интенсивному их износу и разрушению рабочих поверхностей. Эти дефекты обнаруживаются как при обкатке и сдаточных испытаниях, так и в начальные периоды эксплуатации. Это крайне негативно сказывается на надёжности выпускаемых двигателей. Необходимо также отметить, что, кроме того, что стале-алюминиевые вкладыши обеспечивают наибольший ресурс двигателей до капитального ремонта [1], их продукты изнашивания в отличие от баббитовых и свинце-бронзовых вкладышей не являются катализаторами окисления масел.

Постановка задачи

Одним из способов снижения склонности материалов пар трения к схватыванию и образованию задиров является создание на их рабочих поверхностях разделительных защитных оксидных покрытий. Подобные мероприятия были предложены ещё в 50-х годах прошлого столетия, но по ряду причин не получили дальнейшего развития [2].

В работах С.В. Венцеля и Б.В. Индина [3,4] было показано, что электрохимическая обработка стале-алюминиевых вкладышей с антифрикционным слоем из алюминиево-оловянистого сплава АО-20 приводит к образованию защитных оксидных пористых плёнок с повышенной маслоёмкостью и благоприятно сказывается на износостойкости и противозадирные свойства этого сплава.

Одним из способов создания защитных оксидных слоёв на рабочих поверхностях деталей из алюминиевых сплавов является микродуговое оксидирование.

Результаты исследований

Для определения характеристик трения и износа стале-алюминиевых вкладышей были проведены триботехнические испытания в условиях граничной смазки. Для испытаний были использованы образцы («колодки»), изготовленные из стале-алюминиевых вкладышей двигателя Д80 с сохранением их рабочей поверхности из алюминиевого сплава АМО1-20. В дальнейшем рабочая поверхность «колодки» была преобразована методом микродугового оксидирования на различную глубину.

Для изучения влияния микродугового оксидирования на триботехнические характеристики сплава АМО1-20, были проведены испытания по определению коэффициента трения, нагрузки задиобразования, износостойкости и изнашивающей способности для узла трения коленчатый вал - вкладыш. Материалы контртел: стале-алюминиевый сплав АМО1-20 (с оксидированным

слоем толщиной 20-25 и 60-70 мкм и без оксидированного слоя) и серийный высокопрочный чугун (ВПЧ) для коленчатых валов. Испытания по определению коэффициента трения $f_{тр}$ проводили на машине СМТ-1 по методике ступенчатого нагружения при, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $T_m^{нач} = 70^\circ\text{C}$. Испытания на износостойкость проводили на машинах СМЦ-2 при следующих условиях: $n = 500 \text{ мин}^{-1}$; масло М14В2; время работы $\Psi = 3$ часа; нагрузке $P = 0,2$; 0,6 и 1,0 кН; при нагрузке $P = 0,2$ кН во всех вариантах температура масла поддерживалась на уровне $T_m = 70^\circ\text{C}$ при помощи автоматического задатчика температуры, в испытаниях «колодок» с оксидированным слоем при нагрузке $P = 0,6$ и 1,0 кН в начальный момент времени $T_m^{нач} = 70^\circ\text{C}$, после чего искусственный подогрев отключали и в течении всего периода испытаний температура масла определялась тепловыделениями в результате трения в зоне контакта.

Результаты испытаний по определению коэффициента трения $f_{тр}$ при ступенчатом нагружении приведены в таблице 1, а результаты определения $f_{тр}$ при испытаниях на износостойкость приведены в таблице 2.

Анализ полученных значений $f_{тр}$ (табл. 1) свидетельствует о том, что в случае наличия на поверхности сплава АМО1-20 оксидированного слоя, коэффициент трения в несколько раз выше во всём интервале нагрузок по сравнению с вариантом, в котором этот слой отсутствует. Данные по $f_{тр}$, полученные по методике ступенчатого нагружения, подтверждаются и значениями $f_{тр}$, измеренными в процессе испытаний на износ (табл. 2) при нагрузках $P = 0,2$; 0,6 и 1,0 кН.

В отношении значений $f_{тр}$, полученных для образцов с оксидированным слоем различной толщины, следует отметить, что для сравниваемых толщин слоя 20-25 и 60-70 мкм значения $f_{тр}$ практически не отличаются, несколько более низкие значения $f_{тр}$ можно отметить лишь при невысоких нагрузках до $P = 0,6$ кН (см. табл. 1 и 2).

Оценка износостойкости производилась методом измерения ширины дорожки трения с последующим определением максимальной глубины износа. Этот метод позволяет оценить износостойкость при малых нагрузках, когда возможности весового метода ограничены в следствии малых величин износа. Вместе с тем весовой метод измерения износа также использовали для сопоставления с данными, полученными по измерению ширины дорожки трения.

Полученные результаты по определению износа представлены в табл. 3.

Таблица 1. Результаты определения коэффициентов трения $f_{тр}$ при ступенчатом нагружении

Материал и покрытие вкладыша	Значения $f_{тр}$ и температуры смазки T_m при нагрузке P , кН									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
АМО1-20 без покрытия	$\frac{0,040^*}{0,040}$	$\frac{0,025}{0,025}$	$\frac{0,037}{0,020}$	$\frac{0,025}{0,015}$	$\frac{0,030}{0,016}$	$\frac{0,030}{0,015}$	$\frac{0,032}{0,013}$	$\frac{0,026}{0,011}$	$\frac{0,025}{0,012}$	$\frac{0,025}{0,013}$
температура смазки	70°C**	60°C	60°C	---//---	---//---	---//---	---//---	---//---	---//---	60°C
АМО1-20 + ВНИИНП-212	$\frac{0,020}{0,020}$	$\frac{0,030}{0,010}$	$\frac{0,037}{0,020}$	$\frac{0,028}{0,015}$	$\frac{0,030}{0,016}$	$\frac{0,030}{0,016}$	$\frac{0,032}{0,016}$	$\frac{0,033}{0,016}$	$\frac{0,032}{0,017}$	$\frac{0,032}{0,020}$
температура смазки	70°C	60°C	60°C	---//---	---//---	---//---	---//---	---//---	---//---	60°C
АМО1-20 + оксидный слой 20-25 мкм	$\frac{0,150}{0,150}$	$\frac{0,147}{0,142}$	$\frac{0,141}{0,144}$	$\frac{0,140}{0,140}$	$\frac{0,130}{0,128}$	$\frac{0,130}{0,126}$	$\frac{0,126}{0,126}$	$\frac{0,129}{0,129}$	$\frac{0,128}{0,126}$	$\frac{0,127}{0,124}$
температура смазки	70°C	80°C	90°C	105°C	125°C	140°C	160°C	180°C	200°C	230°C
АМО1-20 + оксидный слой 60-70 мкм	$\frac{0,130}{0,130}$	$\frac{0,132}{0,137}$	$\frac{0,137}{0,137}$	$\frac{0,132}{0,132}$	$\frac{0,124}{0,124}$	$\frac{0,126}{0,121}$	$\frac{0,122}{0,122}$	$\frac{0,124}{0,126}$	$\frac{0,127}{0,120}$	$\frac{0,124}{0,121}$
температура смазки	70°C	80°C	95°C	110°C	120°C	140°C	160°C	180°C	205°C	230°C

* В числителе приведены значения $f_{тр}$ в начале, а в знаменателе – в конце каждой ступени нагружения.

** Температура приведена на конечном этапе ступени нагружения с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$

Таблица 2. Результаты определения коэффициентов трения $f_{тр}$ при испытаниях на износ при нагрузках $P = 0,2; 0,6$ и $1,0$ кН

Материал и покрытие вкладыша	Значения коэффициента трения $f_{тр}$ при нагрузках P , кН		
	0,2	0,6	1,0
АМО1-20 (без оксидирования)	0,031 – 0,091	0,020 – 0,041	0,012 – 0,015
АМО1-20 + оксидирование (20-25 мкм)	0,091 – 0,152	0,142 – 0,152	0,091 – 0,128
АМО1-20 + оксидирование (60-70 мкм)	0,061 – 0,107	0,102 – 0,112	0,116 – 0,128

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что для образцов с оксидированным слоем характерна меньшая глубина лунки износа по сравнению с не оксидированными образцами при всех используемых нагрузках, т. е. оксидированные образцы более износостойкие. Что касается данных по весовому износу колодок, то корреляция с данными по h_{max} наблюдается только при $P = 1,0$ кН, при $P = 0,2$ кН и $P = 0,6$ кН этого нет. Причиной этого может быть недостоверность показаний весового износа при малых износах (малых нагрузках), либо существенное различие в удельных весах сплава АМО1-

20 и оксидов, составляющих основу оксидированного слоя.

Что касается изнашивающей способности, то данные весьма неопределённые и зависят от нагрузки. Более или менее определённо можно говорить о меньшей изнашивающей способности в случае образцов с глубиной оксидированного слоя 60 - 70 мкм по сравнению с глубиной оксидированного слоя 20 – 25 мкм. Для более чёткой оценки изнашивающей способности оксидированного слоя необходимо проводить дополнительные испытания с соответствующей статической обработкой.

Таблица 3. Результаты испытаний на износ при нагрузках $P = 0,2; 0,6$ и $1,0$ кН

Материал и покрытие вкладыша	Линейный износ образца вкладыша		Весовой износ, $г \cdot 10^{-4}$		Нагрузка P , кН
	ширина лунки b , мм	глубина лунки h_{max} , мкм	«колодки» (вкладыша)	«диска» (вала)	
АМО1-20 (без оксидирования)	1,72 – 1,86	14,2 – 16,5	- $3 \cdot 10^{-4}$	+ $4 \cdot 10^{-4}$	0,2
АМО1-20 + оксидированный слой 20-25 мкм	0,66 – 0,77	2,0 – 2,7	- $8 \cdot 10^{-4}$	- $46 \cdot 10^{-4}$	
АМО1-20 + оксидированный слой 60-70 мкм	0,81 – 1,16	3,1 – 6,5	- $4 \cdot 10^{-4}$	- $17 \cdot 10^{-4}$	
АМО1-20 (без оксидирования)	1,83	15,9	- $8 \cdot 10^{-4}$	- $15 \cdot 10^{-4}$	0,6
АМО1-20 + оксидированный слой 20-25 мкм	1,59	12,2	- $18 \cdot 10^{-4}$	+ $7 \cdot 10^{-4}$ (масло в порах)	
АМО1-20 + оксидированный слой 60-70 мкм	1,17 -1,48	6,6 – 10,5	- $17 \cdot 10^{-4}$	- $3 \cdot 10^{-4}$	
АМО1-20 (без оксидирования)	6,17	-----	- $152 \cdot 10^{-4}$	- $14 \cdot 10^{-4}$	1,0
АМО1-20 + оксидированный слой 20-25 мкм	3,33 – 3,55	--- - 58,4	- $62 \cdot 10^{-4}$	- $56 \cdot 10^{-4}$	
АМО1-20 + оксидированный слой 60-70 мкм	1,79 – 2,95	15,3 – 42,9	- $21 \cdot 10^{-4}$	- $16 \cdot 10^{-4}$	

Выводы

Результаты предварительных испытаний образцов «колодок» изготовленных из сталеалюминиевых вкладышей двигателя Д80 с антифрикционным слоем АМО1-20 преобразованным методом микродугового оксидирования на глубину 20-25 и 60-70 мкм показали, что наряду с повышением маслоёмкости рабочей поверхности пары колечный вал- вкладыш коэффициент трения $f_{тр}$ увеличивается в 3 – 5 раз по сравнению со слоем АМО1-20 без оксидирования.

Увеличение износостойкости сталеалюминиевых вкладышей двигателя Д80 с антифрикционным слоем АМО1-20 за счёт микродугового оксидирования свидетельствует о перспективности применения этой технологии для решения задач повышения работоспособности узлов трения к работе которых не предъявляются требования высокой антифрикционности.

Список литературы:

1. Буше К.А. Подшипниковые сплавы для подвижного состава / К.А. Буше. – М.: Изд-тво «Транспорт», 1967. - 224 с. 2. Болтинский В.Н. Тракторные и автомобильные двигатели / В.Н. Болтинский. – М.: Гос. изд-во сельскохозяйственной литературы, 1953. – 430 с. 3. Венцель

С.В. Влияние электрохимической размерной обработки на износостойкость пар трения. – В кн.: физико-химическая механика контактного взаимодействия и фреттинг коррозия / С.В. Венцель, Б.В. Индин. – Киев, 1973. - 380 с. 4. Венцель С.В. Исследование некоторых характеристик трения алюминиевого сплава АО-20 после предварительного электрохимического микрокавернообразования / С.В. Венцель, Б.В. Индин // Проблемы трения и изнашивания. – 1976. – №9. – С. 79-81.

Bibliography (transliterated):

1. Buche, K.A. (1967), Bearing alloys for rolling stock [Podshipnikovye splavy dlja podvizhnogo sostava], Publishing house "Transport", Moscow, 224 p. 2. Boltinskiy, V.N. (1953), Tractor and automobile engines [Traktornye i avtomobil'nye dvigateli], The State Council. The publishing house of agricultural literature, Moscow, 430 p. 3. Ventsel, S.V., Indin, B.V. (1973), Effect of electrochemical dimensional processing on the wear resistance of friction pairs. - In: Physicochemical Mechanics of Contact Interaction and Fretting Corrosion [Vlijanie jelektrohimicheskoj razmernoj obrabotki na iznosostojkost' par trenija], Kiev, 380 p. 4. Ventsel S.V., Indin B.V. (1976), «Investigation of some friction characteristics of aluminum alloy AO-20 after preliminary electrochemical micro-cavity formation» [Issledovanie nekotoryh harakteristik trenija aljuminievogo splava AO-20 posle predvaritel'nogo jelektrohimicheskogo mikrokavernoob-razovanija], Problems of friction and wear, № 9, pp. 79-81.

Поступила в редакцию 13.07.2017 г.

Белозёров Валерий Владимирович – канд. техн. наук, профессор кафедри «Матеріалознавства» Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна.

Казак Ирина Богдановна – канд. техн. наук, старший научн. сотрудник института проблем машиностроения им.А.Н. Подгорного, НАН Украины, Харьков, Украина.

Олейник Александр Куприянович – канд. техн. наук, ведущий инж. – технолог лаборатории механических испытаний и износостойкости ГП «Завод им. В.А. Малышева», Харьков, Украина.

Кравченко Сергей Александрович – канд. техн. наук, старший научн. сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина.

ВПЛИВ МІКРОДУГОВОГО ОКСИДУВАННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРТЯ І ЗНОСУ МАТЕРІАЛІВ СПОЛУЧЕННЯ КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ-ВКЛАДИШ ДВИГУНІВ ТИПУ Д100 І Д80

В.В. Белозоров, И.Б. Казак, А.К. Олійник, С.А. Кравченко

У роботі наведені результати експериментальних досліджень взаємодії робочих поверхонь пари тертя колінчастий вал - вкладиш. Для підвищення триботехнічних характеристик, що труться антифрикційний шар АМО1-20 сталю-алюмінієвого вкладиша Д80 методом мікродугового оксидування був перетворений на глибину 20-25 і 60-70 мкм. Випробування зразків проводилися на машині тертя СМТ-1 і СМЦ-2 за методикою ступеневого навантаження. Отримані результати показали, що коефіцієнт тертя f_{tr} збільшується в 3 - 5 разів у порівнянні з шаром АМО1-20 без оксидування, але задир - і зносостійкість пари тертя істотно зросла.

INFLUENCE OF MICROARC OXIDATION ON CHARACTERISTICS OF FRICTION AND WEAR OF THE INTERFACE MATERIALS, THE CRANKSHAFT OF THE ENGINES TYPE D100 AND D80

V.V. Belozorov, I.B. Cossack, A.K. Oleynik, S.A. Kravchenko

The paper presents the results of the experimental studies of the interaction of the working surfaces of a friction pair of a cranked shaft-liner. To increase the tribotechnical characteristics of rubbing surfaces, the antifriction layer AMO1-20 of steel-aluminum liner D80 by using the method of microarc oxidation was converted to a depth of 20-25 and 60-70 μm . Tests of the samples were carried out by using a friction machine SMT-1 and SMC-2 using the step-loading method. The obtained results have shown that the friction coefficient f_{tr} increases by a factor of 3-5 comparatively with the AMO1-20 layer without oxidation, but the wear and tear of the friction pair has increased significantly.