

УДК 669.14.018.24

Канд. техн. наук А. И. Вильчек¹, канд. техн. наук М. В. Сидоренко¹,
канд. техн. наук В. Е. Замковой², А. Б. Единолич²

¹ Запорожский национальный технический университет

² Государственное предприятие «Ивченко-Прогресс», г. Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ ЛАТУНЬЮ СТАЛИ 16ХЗНВФМБ-Ш НА ЕЕ КОНТАКТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ

Получены характеристики контактной выносливости стали 16ХЗНВФМБ-Ш, покрытой латунью ЛС 59-1 при нормальной и повышенной (150 °С) температурах, трении качения и качения со скольжением (7 %).

Ключевые слова: контактная выносливость, теплостойкие стали, покрытие, латунь.

Введение

Повышение надежности и долговечности ответственных деталей ГТД достигается, в первую очередь, за счет улучшения характеристик качества их рабочих поверхностей. Для деталей, работающих в условиях контактного взаимодействия, перспективным направлением управления характеристиками качества рабочих поверхностей является сочетание химико-термической и отделочно-упрочняющей обработок с нанесением на поверхность тонкого слоя антифрикционного материала [1–2]. Вместе с тем, данных по контактной выносливости материалов, применяемых для производства деталей ГТД, с учетом всего многообразия покрытий и финишных обработок, попрежнему недостаточно.

Цель работы: исследование характеристик контактной выносливости стали 16ХЗНВФМБ-Ш,

покрытой латунью ЛС 59-1 при нормальной и повышенной (150 °С) температурах, трении качения и качения со скольжением (7 %).

Методика исследования

Для испытаний материалов на контактную усталость применяются различные установки, среди которых в эксплуатации хорошо себя зарекомендовала установка МКВ-К, конструкции ВНИИ подшипниковой промышленности. Она предназначена для испытаний при нормальной температуре и постоянной скорости вращения приводного диска, что несколько ограничивает ее применение. Испытания при нормальной температуре проводили на модернизированной установке МКВ-К (рис. 1, а) при контактных напряжениях $\sigma_{Zmax} = 3500$ МПа. Частота вращения приводного диска 100 с^{-1} . Испытания при

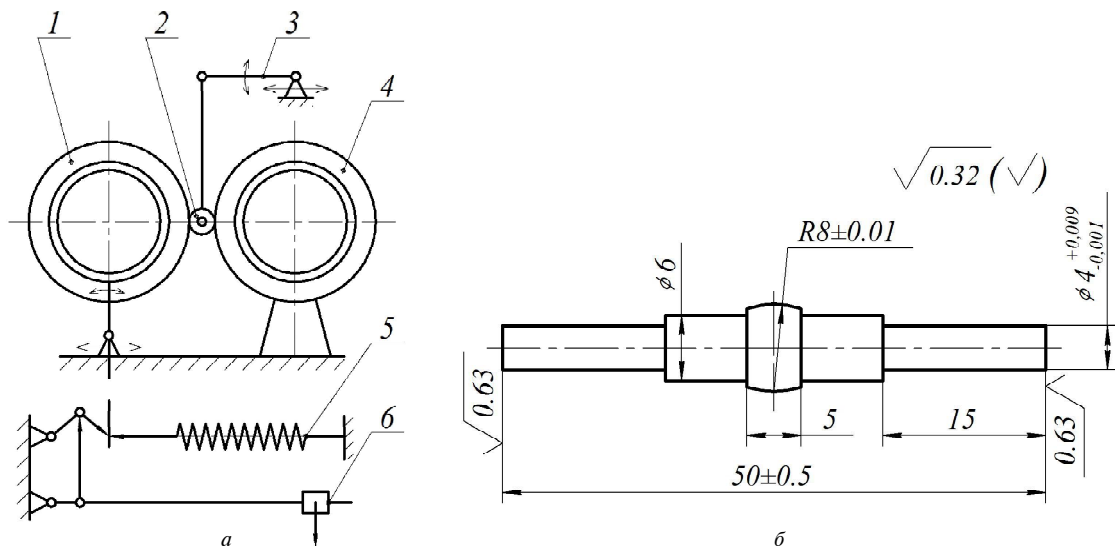


Рис. 1. Схема машины (а) и образца (б) для испытаний на контактную усталость:

1 – прижимной диск; 2 – образец; 3 – подвеска образца; 4 – приводной диск; 5 – узел нагружения образца;
6 – узел разгрузки образца

температуре 150 °С проводили на установке МКВ-Т, разработанной на кафедре ДМ и ПТМ ЗНТУ (а.с. 894459), в которой образец при испытаниях обкатывается между двумя нагреваемыми испытательными дисками. Для испытаний с относительным скольжением 7 % на установке оба рабочих диска сделаны приводными.


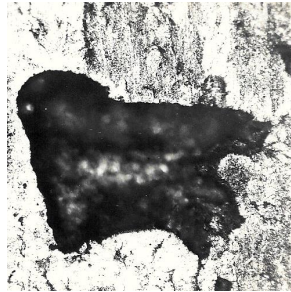
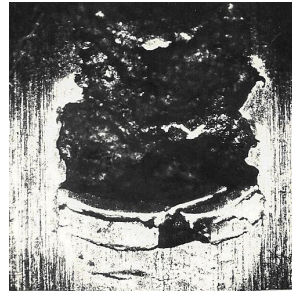


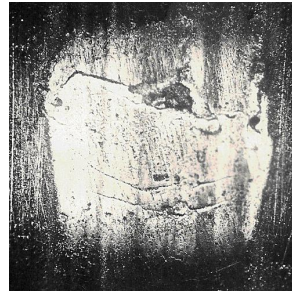
Ввиду большого разброса для проведения испытаний необходимое количество образцов в одной партии составляло 18-20 шт. Для изготовления образцов взяты прутки диаметром 15 мм из стали 16ХЗНВФМБ-Ш (ВКС-5) электрошлакового переплава. Чертеж образца приведен на рисунке 1, б. Перед черновой механической обработкой заготовки прошли предварительную термическую обработку: нагрев до температуры 940 °С, выдержка – 1 час и охлаждение на воздухе; высокий отпуск при температуре 660 °С. Режим химико-термической обработки: цементация в твердом карбюризаторе 930 °С, закалка 920 °С, отпуск 350 °С. Твердость закаленного слоя составила HRC 61-63. Глубина цементованного слоя – 1,2 мм. Структура рабочего цементованного слоя – мелкоигльчатый мартенсит с большим количеством мелкодисперсных карбидов, в отдельных образцах наблюдаются остатки карбидной сетки. Покрытие латунью ЛС59-1 осуществлялось механофрикционным способом на финишном этапе обработки. Смазка рабочих дисков осуществлялась смесью масла МС-20 (ГОСТ 21713-76) и трансформаторного масла (ГОСТ 982-80) в объемном соотношении 1:3. При комнатной

температуре испытания проводились в режиме фрикционного качения, а при температуре 150 °С в режиме фрикционного качения и качения с принудительным проскальзыванием 7 %.

Результаты исследований и их обсуждение

Осмотр образцов после испытаний показал, что износ их вследствие истирания практически отсутствует даже при наличии скольжения в контакте. Основным критерием выхода образцов из строя являлось образование ямок контактного усталостного выкрашивания – питтингов. Несмотря на высокие контактные нагрузки, и даже при наличии скольжения, истирание проходит в режиме жидкостного трения как при нормальной, так и при повышенной (150 °С) температурах. В таблице 1 представлены типичные виды разрушений испытанных образцов. Как видно, характер разрушения стали без покрытия и латунированной – идентичен как при 20 °С, так и при 150 °С. При испытаниях со скольжением характер питтинга несколько отличен. Скол более крупный, и часто края образовавшейся ямки имеют трещины, предшествующие разрушению. Зарождение усталостных микротрещин наблюдается как на поверхности, так и под поверхностью обкатки. Поверхностные микротрещины наблюдаются чаще всего у образцов, испытанных в условиях принудительного скольжения. Исследование поперечных шлифов показало наличие поверхностных трещин, расположенных на глубине 150–300 мкм, что соответствует зоне дей-

Таблица 1 – Характер разрушения стали 16ХЗНВФМБ-Ш

Состояние поверхности	Режимы испытаний		
	20 °С	150 °С	150 °С + скольж. 7 %
без покрытия			
покрытие ЛС 59-1			

ствия максимальных касательных напряжений для данного случая (контактирование эллипсоидного образца диаметром 8 мм и цилиндрического диска диаметром 150 мм). Кроме того, очагами зарождения поверхностных трещин часто являются дефекты структуры, остатки карбидной сетки (рис. 2, а), грубые карбиды (рис. 2, б). Как уже отмечалось, принципиального различия в характере разрушения покрытых и непокрытых образцов не наблюдается, однако на образцах, покрытых латунью, ширина беговой дорожки образца больше. Следует отметить, что на беговой дорожке непокрытых образцов после испытаний наблюдается увеличение микротвердости на 80–120 ед. Особенно этот эффект имеет место при испытаниях со скольжением.

В результате статистической обработки были определены: среднелогарифмическая долговечность N_{50} , соответствующая 50 % вероятности разрушения; гарантированная долговечность N_{10} , соответствующая 10 % вероятности разрушения образцов (таблица 2), а также среднеквадратическое отклонение $S_{\lg N}$. По вычисленным значениям $\lg N$ и $S_{\lg N}$ были построены прямые, аппроксимирующие функции распределения логарифмов чисел циклов: $\lg N_{pi} = \lg N + u_{pi} \cdot S_{\lg N}$ (рисунок 3).

Из результатов видно, что испытания при нормальной температуре не выявили преимущества покрытия латунью, долговечность образцов двух вариантов практически одинакова.

Эффективность покрытия проявилась при испытаниях при повышенной температуре и, в особенности, при наличии скольжения.

На беговых дорожках непокрытых образцов при 150 °С наблюдается не только повышение микротвердости (наклеп), но и цвета побежалости. Несмотря на то, что температура отпуска для стали ВКС-5 составляет 350 °С, совместное действие силовых и температурных нагрузок приводит к снижению сопротивления контактной усталости. На образцах, покрытых латунью, этого не наблюдается.

Выводы

1. Получены характеристики контактной выносливости стали ВКС-5 без покрытия и подвергнутой латунированию сплавом ЛС 59-1.

2. Среднелогарифмическая и гарантированная долговечности при фрикционном качении цементированной стали ВКС-5 без покрытия и с покрытием латунью ЛС 59-1 находятся практически на одном уровне.

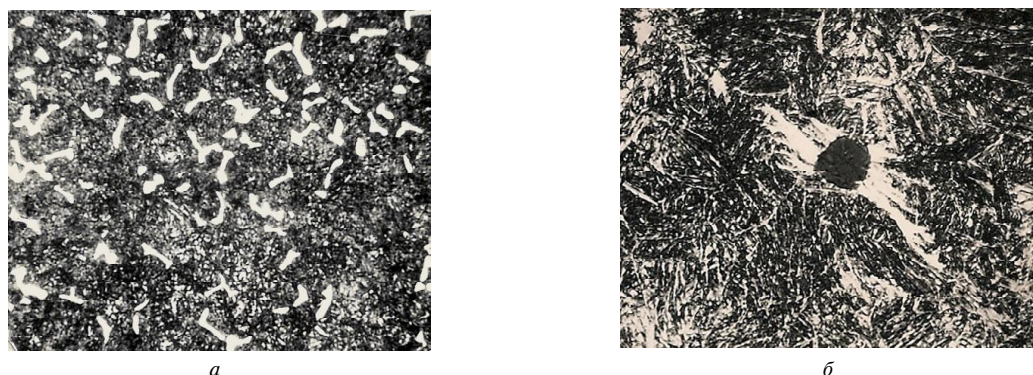


Рис. 2. Очаги зарождения трещин:
а – остатки карбидной сетки; б – разрушение в зоне включения

Таблица 2 – Результаты испытаний стали 16ХЗНВФМБ-Ш

Состояние поверхности	Режимы испытаний		
	20 °С	150 °С	150 °С + скольж. 7 %
без покрытия	$\frac{30,63^*}{9,33}$	$\frac{16,17}{5,4}$	$\frac{5,51}{1,67}$
покрытие ЛС59-1	$\frac{26,63}{6,85}$	$\frac{20,34}{7,31}$	$\frac{11,92}{2,78}$

Примечание: * – в числителе указана среднелогарифмическая долговечность N_{50} , млн. циклов; в знаменателе гарантированная долговечность N_{10} , млн. циклов

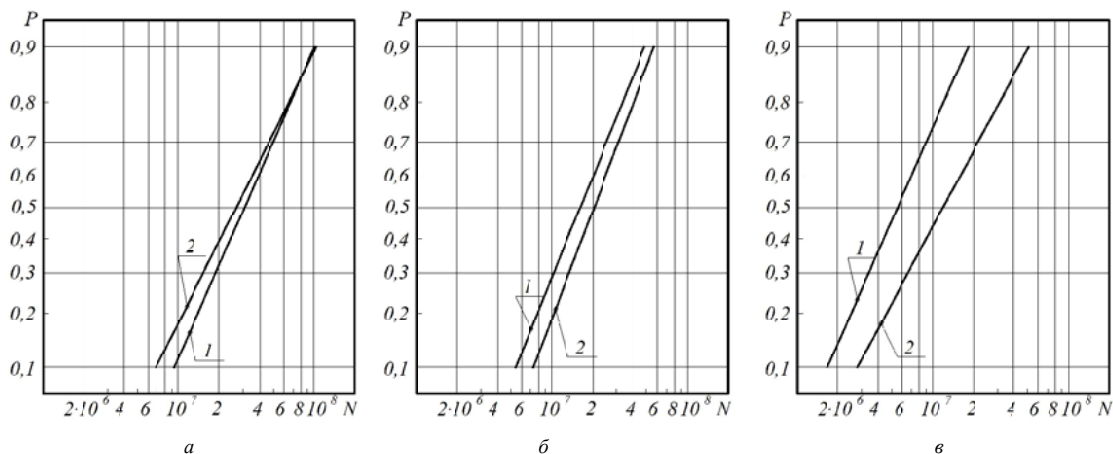


Рис. 3. Графики функции распределения долговечности образцов из стали ВКС-5 при $\sigma_{Zmax} = 3500$ МПа (1 – без покрытия; 2 – с покрытием ЛС 59-1)

a – чистое качение, $t = 20$ °С; *b* – чистое качение, $t = 150$ °С; *v* – качение со скольжением 7 %, $t = 150$ °С

3. Обнадёживающие результаты положительного влияния покрытия поверхности стали ВКС-5 латуной ЛС 59-1 существенно проявились при испытаниях при повышенной температуре (150 °С) в условиях качения с принудительным скольжением.

4. Вместе с тем, учитывая специфику контактно-усталостных испытаний, большой разброс результатов испытаний в каждой выборке, представляется целесообразным продолжить комплексные исследования влияния покрытий на контактную выносливость стали ВКС-5 в статистическом аспекте.

Перечень ссылок

1. Берсудский А. Л. Технологическое обеспечение долговечности деталей машин на основе упрочняющей обработки с одновременным нанесением антифрикционных покрытий: дис. доктора техн. наук : 05.02.08 / Берсудский Анатолий Леонидович. – М., 2007. 338 с.
2. Леванцевич М. А. Технологические возможности покрытий, нанесенных металлическими щетками // Прикладные науки. – 2005. – Т. 2. – № 4. – С. 53–55.

Поступила в редакцию 15.11.2010

Вільчек О.І., Сидоренко М.В., Замковий В.Є., Єдинович А.Б. Дослідження впливу покриття латунню сталі 16ХЗНВФМБ-Ш на її контактну витривалість

Отримано характеристики контактної витривалості сталі 16ХЗНВФМБ-Ш, покритою латунню ЛЗ 59-1 при нормальній і підвищеній (150 °С) температурах, терті кочення і кочення з ковзанням (7 %).

Ключові слова: контактна витривалість, теплостійкі сталі, покриття, латунь.

Vilchek A., Sidorenko M., Zamkovoy V., Yedinovich A. Research of 6X3HBFMB-III steel brass coating effect on its contact resistance

Obtained data of contact resistance of 16X3HBFMB-III steel coated with ЛС 59-1 (LS 59-1) brass at normal and higher (150°C) temperatures, rolling friction and rolling with slipping (7 %).

Key words: contact resistance, heatproof steels, coating, brass.