

лей. В этом заключается отличительная особенность описанного способа контроля тепловых напрессовок деталей. При использовании в структурной схеме средств технической диагностики вычислительных машин обработанные результаты с ЭВМ передаются на цифropечатающее устройство для визуального контроля и на логический блок сравнения, сопоставляющий по заданному критерию диагностический сигнал с нормированным значением, хранимым в запоминающем устройстве. Достижимое повышение достоверности оценки величин действительного натяга в сопряжениях колец подшипников с шейками осей на завершаемом этапе технологического процесса тепловой сборки соединений позволяет повысить уровень надежности ходовых частей подвижного состава рельсового транспорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сендеров Г. К., Зыков Ю. В., Глушко М. И. и др. Развитие средств автоматизации контроля и технического диагностирования грузовых вагонов в эксплуатации // Ж.-д. транспорт. Сер. Вагоны и вагонное хоз-во. Ремонт вагонов ОИ / ЦНИИ ТЭИ МПС, 2000. — Вып. 2.
2. Гречищев Е. С., Ильяшенко А. А. Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление. — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.

УДК 621.787

**В.И. Серебряков**

### **ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ФРЕТТИНГ-УСТАЛОСТИ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ОТВЕРСТИЯМИ**

*Зеленогурский университет  
Зелена Гура, Польша*

Явление фреттинг-усталости, которое возникает в местах поверхностного контактирования узлов и соединений в процессе относительных микроперемещений при постоянных статических и динамических нагрузках, значительно снижает усталостную прочность деталей машин [1]. Степень сопротивления поверхностей деталей машин фреттинг-усталости зависит от условий трения контактирующих поверхностей, а также от способности воспринимать эксплуатационные статические и динамические нагрузки определенным материалом, из которого они изготовлены. Особенно чувствительны к условиям фреттинга материалы с высоким коэффициентом трения (на-

пример, титановые сплавы). Поэтому для повышения долговечности деталей, изготовленных из титановых сплавов, необходима упрочняющая технология для повышения усталостной прочности и технология нанесения защитных покрытий, предотвращающих или значительно снижающих вероятность появления и распространения фреттинга.

Определенные трудности возникают при эксплуатации деталей, имеющих отверстия, которые служат дополнительным концентратором напряжений и уменьшают сопротивление динамическим нагрузкам, что требует применения дополнительных технологических методов упрочнения поверхностей с отверстиями [2].

В качестве технологических методов упрочнения применялись исследованные ранее [2] такие как двухстороннее кольцевое обжатие торцовых зон отверстий, точечное обжатие таких зон вдавливанием стальных шариков, запрессовка втулок в отверстие по скользящей посадке. Исследования проводились на плоских образцах из титанового сплава с отверстиями (рис. 1), имитирующих реальные детали. Усталостные испытания проводились на универсальном пульсаторе для динамических испытаний ЦДМ-ПУ10 с нагрузкой при растяжении 40кН и амплитудой ее изменения при переменном растяжении  $\pm 30$ кН при постоянной частоте колебаний 925мин<sup>-1</sup>. Образцы крепились в захватах пульсатора болтами, изготовленными из закаленной стали 30ХГСА, которые вставлялись в отверстия без зазора, что позволяло имитировать условия фреттинга в контакте.

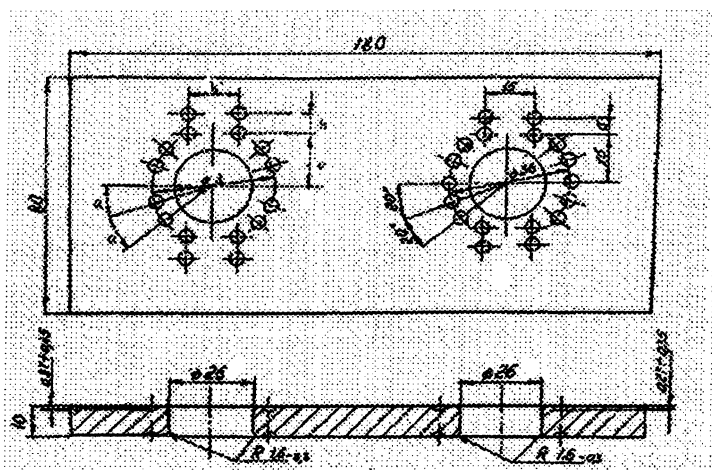


Рис.1. Плоский образец для усталостных испытаний в условиях фреттинга

Исследовались образцы, в отверстия которых запрессовались втулки по скользящей посадке, с нанесением на поверхности контакта электрофоретического покрытия либо без запрессовки втулок, с упрочнением торцов отверстий глубоким пластическим вдавливанием кольцевого пуансона или сепаратора со стальными шариками. На рис. 1. показан образец для исследований влияния упрочнения глубоким пластическим деформированием вдавливанием шариков вокруг отверстия.

В табл. 1 приведены результаты испытаний образцов с отверстиями после двухстороннего торцового кругового вдавливания шариков с различной глубиной отпечатка, которая формировалась за два или три приема.

Таблица 1

**Результаты усталостных испытаний упрочненных образцов без втулок**

Состояние поверхности образца	Число циклов до разрушения, $\times 10^6$ при нагрузке:		Примечание
	40 кН $\pm$ 30кН	50 кН $\pm$ 40кН	
1. Исходные, без упрочнения	0,115		
2. Обжатие шариками в 2 приема: 1 — глубиной 0,25 мм; 2 — глубиной до 0,36 мм	2,45 (снят без разрушения)	0,35 разрушился	После испытаний на первом уровне без разрушения
3. Обжатие: 1 — с глубиной до 0,18 мм; 2 — до 0,25 мм; 3 — до 0,36 мм	2,57 (снят без разрушения)	0,16 разрушился	

Образцы с упрочненной зоной отверстия, независимо от того, как формировалась глубина лунки вдавливания шариков, показали высокую долговечность (примерно в 20 раз) в сравнении с неупрочненными. При этом упрочненные образцы после 2,5 млн. циклов испытаний на первом уровне нагружений были испытаны при более высокой нагрузке и, как видно из результатов исследований, многократное вдавливание шариков не приносит ощутимого эффекта. Поэтому в дальнейших исследованиях применялось однократное вдавливание на глубину от 0,25 до 0,4 мм. Результаты таких исследований приведены в табл.2.

Как показывают проведенные исследования оптимальной глубиной вдавливания шарика является глубина около 0,3 мм.

Поскольку наличие отверстия на поверхности способствует концентрации напряжений, снижающих сопротивление циклическим нагрузкам, осо-

бенно при переменном растяжении, были поведены исследования образцов, в отверстия которых запрессовывались втулки, способствующие блокированию указанных напряжений. На некоторые из них перед запрессовкой наносилось электрофоретическое покрытие (ЭЛФ). Образцы для испытаний имели вид, показанный на рис. 2.

Таблица 2

**Результаты усталостных испытаний образцов с однократным кольцевым вдавливанием шариков и кольцевого пуансона вокруг отверстия**

Вид образцов	Число циклов до разрушения, $\times 10^6$ при нагрузке $40 \text{ кН} \pm 30 \text{ кН}$
1. Исходные, без упрочнения	0,11
2. Торцы отверстий обжаты шариками с глубиной вдавливания 0,3 мм	0,29
3. Торцы отверстий обжаты шариками с глубиной вдавливания глубиной 0,4 мм	0,866...11,0
4. Торцы отверстий обжаты кольцевым пуансоном	1,12

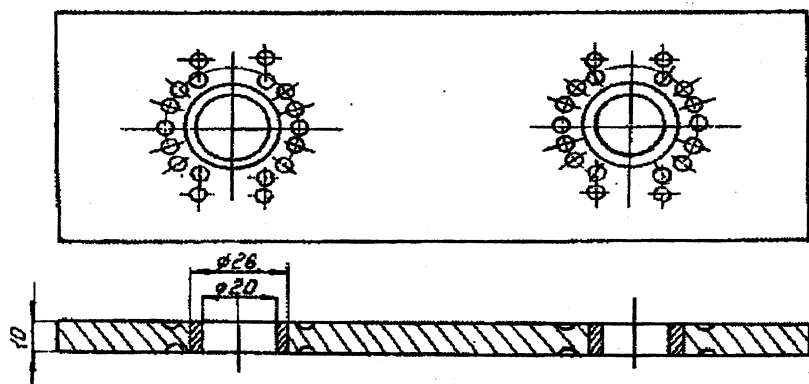


Рис. 2. Образец с запрессованными втулками для испытаний на фреттинг усталость

Результаты усталостных испытаний таких образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты усталостных испытаний упрочненных образцов с втулками

Вид образцов	Число циклов до разрушения, $\times 10^6$ при нагрузке $40 \text{ кН} \pm 30 \text{ кН}$
1. С запрессовкой втулки с покрытием ЭЛФ	0,24
2. С запрессовкой втулки без ЭЛФ	0,11
3. Запрессовка втулки с покрытием ЭЛФ и обжатие шариками	0,68
4 Запрессовка втулки и обжатие кольцевым пуансоном	1,284
5. Запрессовка втулки, обжатие шариками и развертывание отверстия	3,25

Как видно из приведенных результатов применение электрофоретического покрытия способствует повышению долговечности образцов в условиях фреттинг-коррозии за счет уменьшения вероятности появления фреттинга. Однако дополнительное упрочнение кольцевым вдавливанием шариков вокруг отверстия способствует значительному сопротивлению фреттинг-усталости (примерно от 10 до 30 раз).

На основании анализа результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение электрофоретического покрытия одной из контактируемых поверхностей пары вал-втулка способствует повышению сопротивления фреттинг-усталости.

2. В большей степени повышению сопротивления фреттинг-усталости способствует применение упрочнения зоны отверстия в виде обжатия кольцевым пуансоном или стальными шариками с глубиной вдавливания не менее 0,2 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уоттерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия: пер. с англ. — Л.: Машиностроение, 1976. — 271с.
2. Серебряков В.И. Комплексная технология для повышения долговечности деталей с отверстиями // Технологическое управление качеством поверхности деталей машин. Материалы Международной научной конференции. — Киев, ИСМ НАН Украины, 2003. — С. 160–162.