

УДК 620.178.4

УСКОРЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ МНОГОСТУПЕНЧАТОМ НАГРУЖЕНИИ

С.А. Тюрин, М.О. Прядко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

Для экспериментальной оценки взаимного и совместного влияния процессов трения и механической усталости на работоспособность материалов и моделей силовых систем в сложных условиях нагружения в механике износоусталостного повреждения разработаны специальные методы износоусталостных испытаний [1-2]. Эти методы комплексных испытаний базируются, как правило, на инновационных решениях, многие из которых являются изобретениями [3-5].

Основные принципы разработанных методов таковы:

– методы включают три вида испытаний: на механическую усталость при консольном изгибе с вращением, на трение (качения или скольжения) и комплексные износоусталостные испытания (на контактно-механическую усталость, фрикционно-механическую усталость, фреттинг-усталость) (рис. 1);

– при всех видах испытаний используется единый цилиндрический образец (вал) с рабочим диаметром 10 мм;

– все виды испытаний реализуются на вращательном движении при частоте вращения образца 3000 мин^{-1} (50 Гц);

– вводится система основных характеристик сопротивления износоусталостным повреждениям, которые разделены на обязательные и рекомендуемые;

– все характеристики предусмотрено получать экспериментально.

К настоящему времени типичные методы износоусталостных испытаний доведены до стандартного уровня (ГОСТ 30754-2001, СТБ 1448-2004, СТБ 1758-2007 и др.).

Установлено [6], что для определения истинного значения предела выносливости и других характеристик сопротивления усталости и износостойкости путем построения кривой усталости согласно требованиям стандарта [7], необходимо 300...400 часов. В случае же применения ускоренных методов (в частности, метод Локати) [8] (требуется ≈ 4 часа), при приемлемой погрешности. Следовательно, применение ускоренных методов позволяет сократить время испытаний в 70...100 раз.

В механике износоусталостного повреждения нашел широкое применение метод ускоренных испытаний при многоступенчатом нагружении. Его широко используют для ускоренной оценки как основной

характеристики сопротивления усталости металлических материалов – предела выносливости, так и ряда других параметров.

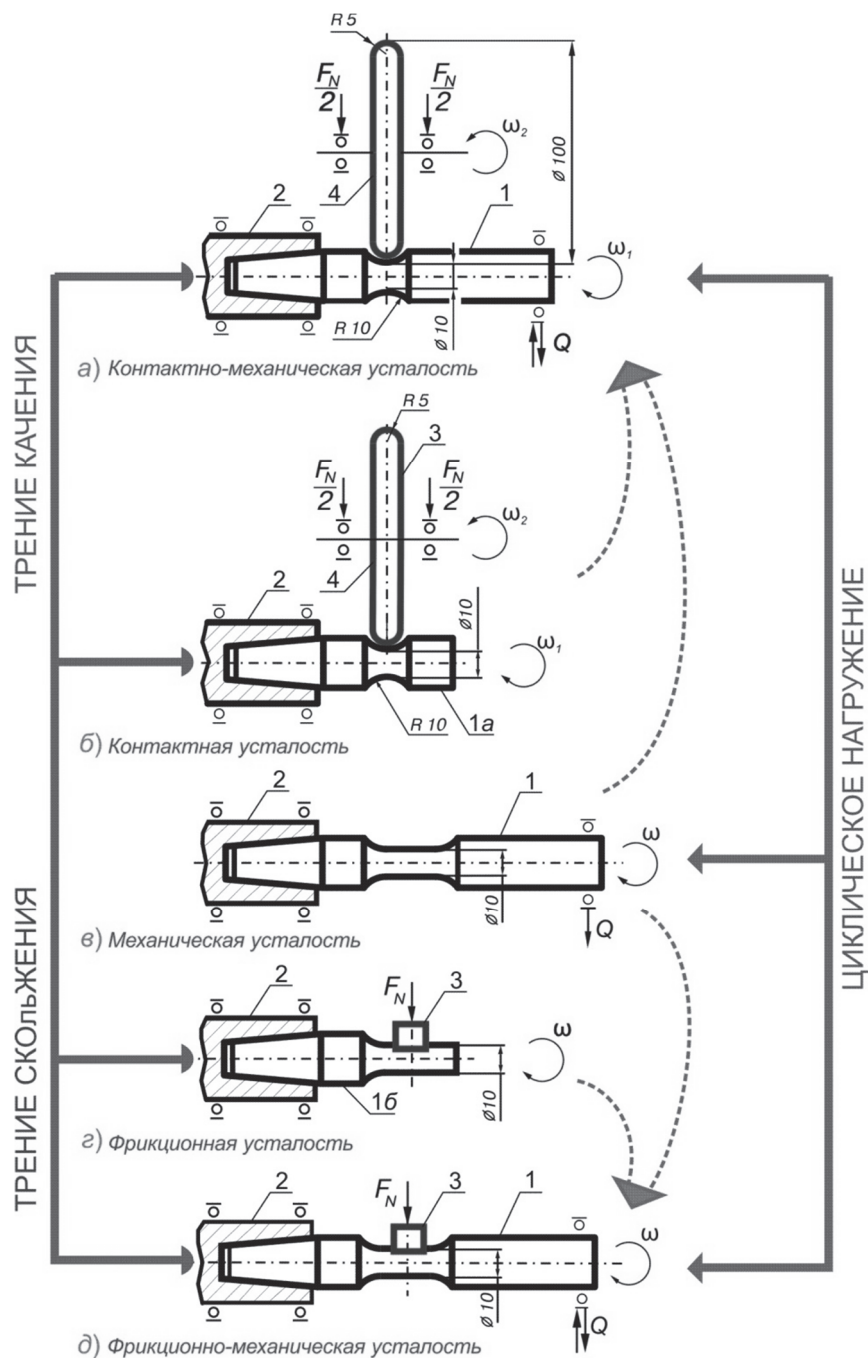


Рис.1 – Типичные схемы износоусталостных испытаний: 1 – образец; 2 – шпindel испытательной машины; 3, 4 – контрообразец; Q – изгибающая нагрузка; F_N – контактная нагрузка; ω_1 , ω_2 – скорость вращения образца, контрообразца

С использованием этого метода проведен комплекс испытаний для того, чтобы получить комплекс специфических характеристик износоусталостного повреждения в специфических же условиях.

На рис. 2 приведены результаты сравнительных испытаний образца стали 45 на механическую усталость, пары трения сталь 45 (вал) / сталь 25ХГТ (ролик) – на контактную усталость и аналогичной силовой системы сталь 45 (вал)/сталь 25ХГТ (ролик) – на контактно-механическую усталость в условиях прямого и обратного эффектов.

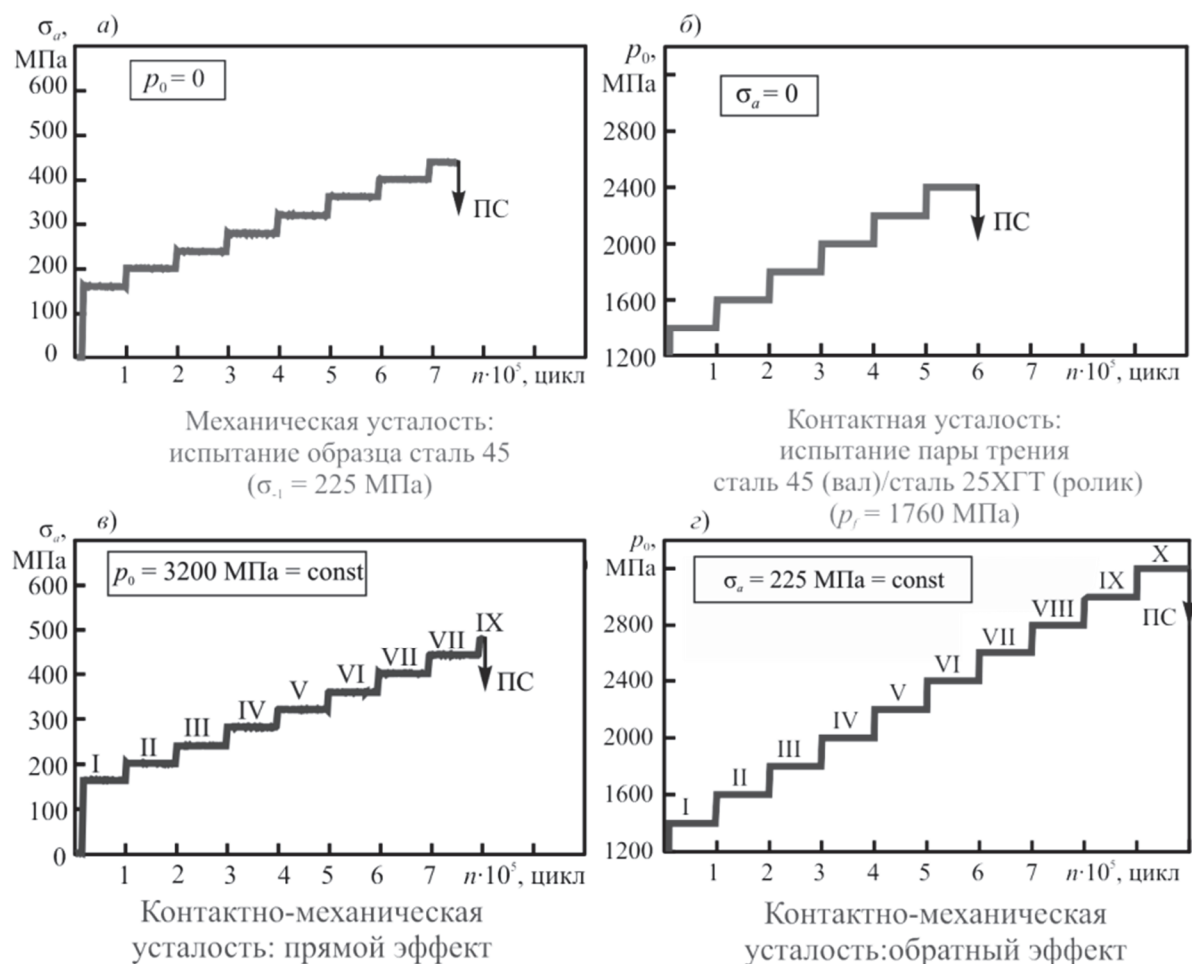


Рис.2 – Сравнительные результаты испытаний методом многоступенчатого нагружения

Анализ результатов испытаний (см. рис.2) показывает, что сопротивление износоусталостному повреждению и разрушению сравниваемых объектов существенно различно – по уровню предельных напряжений, по долговечности (суммарному числу циклов нагружения до наступления предельного состояния) и, наконец, по числу ступеней нагружения, которое может выдержать данный объект до перехода к предельному состоянию.

В табл. 1 дана сводка характеристик износоусталостного повреждения, численные значения которых можно получить по результатам испытаний методом многоступенчатого нагружения; там же приведены и необходимые формулы для их оценки

Описанный метод ускоренных испытаний при многоступенчатом нагружении стандартизован [9].

Табл. 1 Характеристики износоусталостного повреждения, полученные методом многоступенчатого нагружения

Характеристики свойств	Механическая усталость	Контактная усталость	Контактно-механическая усталость	
			Прямой эффект	Обратный эффект
Предельное напряжение, МПа	$\sigma_k = 440$	$p_k = 2400$	$\sigma_{kp} = 480$	$p_{k\sigma} = 3200$
Интервал нагруженности, МПа	$\Delta\sigma = \sigma_k - \sigma_n = 280$	$\Delta p = p_k - p_n = 1000$	$\Delta\sigma = \sigma_{kp} - \sigma_n = 320$	$\Delta p = p_{k\sigma} - p_n = 1800$
Интервал предельных напряжений, МПа	$\Delta\sigma_{lim} = \sigma_k - \sigma_{-1} = 215$	$\Delta p_{lim} = p_k - p_f = 640$	$\Delta\sigma_{lim} = \sigma_{kp} - \sigma_{-1} = 255$	$\Delta p_{lim} = p_{k\sigma} - p_f = 1440$
Параметры несущей способности	$K_{lim} = \frac{\sigma_k}{\sigma_{-1}} = 1,956$ $\Delta K_{lim} = \frac{\Delta\sigma_{lim}}{\Delta\sigma} = 0,768$	$K_{lim} = \frac{p_k}{p_f} = 1,364$ $\Delta K_{lim} = \frac{\Delta p_{lim}}{\Delta p} = 0,640$	$K_{lim} = \frac{\sigma_{kp}}{\sigma_{-1}} = 2,133$ $\Delta K_{lim} = \frac{\Delta\sigma_{lim}}{\Delta\sigma} = 0,797$	$K_{lim} = \frac{p_{k\sigma}}{p_f} = 1,818$ $\Delta K_{lim} = \frac{\Delta p_{lim}}{\Delta p} = 0,800$
Суммарная долговечность, цикл	$\sum n_\sigma = 7,51 \cdot 10^5$	$\sum n_p = 6 \cdot 10^5$	$\sum n_{\sigma p} = 8,04 \cdot 10^5$	$\sum n_{p\sigma} = 10 \cdot 10^5$
Суммарная живучесть, цикл	$\sum n(\Delta\sigma_{lim}) = 5,51 \cdot 10^5$	$\sum n(\Delta p_{lim}) = 4 \cdot 10^5$	$\sum n(\Delta\sigma_{lim}) = 6,04 \cdot 10^5$	$\sum n(\Delta p_{lim}) = 8 \cdot 10^5$
Предельная циклонапряженность, МПа·цикл	$\sum(n\sigma) = 2,18 \cdot 10^8$	$\sum(np) = 9,4 \cdot 10^8$	$\sum(n\sigma) = 2,42 \cdot 10^8$	$\sum(np) = 2,3 \cdot 10^9$

Выводы. Изложены основные принципы разработанных специальных методов износоусталостных испытаний, которые базируются на инновационных решениях, положенных в основу ряда изобретений. Показано, что применение ускоренных методов определения основных характеристик износоусталостного повреждения (в частности, ступенчатого нагружения) позволяет существенно сократить время испытаний. Проведенные испытания подтвердили эффективность и применимость предложенных методов испытаний на практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еловой, О. М. Экспериментальная механика локальных повреждений: методы исследований и некоторые результаты / О. М. Еловой, А. В. Богданович, С. А. Тюрин, В. В. Комиссаров // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. – Вып. 9. – Минск : ОИМ НАНБ, 2020. – С. 166–175.
2. Махутов, Н. А. Методы износоусталостных испытаний и их эффективность / Н. А. Махутов, А. В. Богданович, С. А. Тюрин, В. В.

Комиссаров // Тр. VI Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. – 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол. : М. А. Журавков (пред.) [и др]. – Минск : БГУ, 2010. – Т. 2. – С. 149–162.

3. Способ испытаний материалов зубчатых колес на контактную и изгибную усталость: пат. 9247 Респ. Беларусь, МПК G 01M13/02/ В.А. Жмайлик, В.А. Андрияшин, Л.А. Сосновский, А.М. Захарик, В.В. Комиссаров, С.С. Щербаков; заявители ПО «Гомсельмаш», ОИМ НАН Б. – № а20040781; заявл. 19.08.2004; опубл. 30.04.2007. –2007. –6 с.

4. Способ износоусталостных испытаний материала рельса системы коле-со-рельс: пат. 10326 Респ. Беларусь, МПК G 01N3/56/ В.И. Сенько, Л.А. Сосновский; заявитель УО «Белорусский государственный университет транспорта». –№ а20050296; заявл. 28.03.2005; опубл. 28.02.2008. –2008. –5 с.

5. Способ испытания на контактно-механическую усталость материала рельса системы колесо-рельс-основание: пат. 10327 Респ. Беларусь, МПК G 01N3/56/ Г.П. Ожигар, Л.А. Сосновский, В.О. Замятнин, В.И. Матвеев, А.А. Сыроковаш, С.С. Щербаков, А.А. Кебики; заявитель УО «Белорусский государственный университет транспорта». –№ а20050297; заявл. 28.03.2005; опубл. 28.02.2008. –2008. –6 с.

6. Сосновский, Л. А. Методика экспериментального построения и анализ кривой усталости в диапазоне долговечности от 1 до 108 циклов / Л. А. Сосновский, С. А. Тюрин, Е. С. Таранова // Усталость и термоусталость материалов и элементов конструкций : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 28–31 мая 2013 г. – Киев : ИПП НАНУ им. Г. С. Писаренко, 2013. – С. 273–275.

7. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость : ГОСТ 25.502–79. – Введ. 1981–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 25 с.

8. РД 50-686-89. Методические указания. Надёжность в технике. Методы ускоренных испытаний на усталость для оценки пределов выносливости материалов, элементов машин и конструкций. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 27 с.

9. СТБ 1233-2000. Трибофатика. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость (Стандарт Беларуси). –Минск: Госстандарт, 2000. –8 с.