

Выявление предела выносливости железнодорожного колеса по его температурному аналогу



Г. М. Волохов,
докт. техн. наук
ОАО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава»
(ОАО «ВНИКТИ»)



Д. А. Князев,
научный сотрудник
ОАО «ВНИКТИ»



В. В. Огуенко,
научный сотрудник
ОАО «ВНИКТИ»



М. В. Тимаков,
инженер ОАО «ВНИКТИ»

Для многоцикловых усталостных испытаний элементов колесных пар предложен метод «температурного аналога», который при ограниченном количестве экспериментальных образцов и в короткий срок позволяет определить предел выносливости детали, не доводя ее до разрушения.

Действующие нормативные документы, определяющие порядок постановки на производство колесных пар и их сертификации по показателям безопасности, предписывают проведение многоцикловых усталостных испытаний элементов колесных пар — осей и колес [1–3]. Цель испытаний — выявление предела выносливости детали при круговом циклическом изгибе для последующей оценки коэффициента запаса сопротивления усталости.

В данной работе предлагается использование для этого разработанного во ВНИКТИ метода «температурного аналога» [4]. Переход через порог упругости и, следовательно, от упругой деформации — к пластической сопровождается резким изменением коэффициента расширения и других физических свойств. В частности, с переходом через порог упругости коэффициент термического расширения после загрузки не возвращается к своему первоначальному значению вследствие явления гистерезиса.

При напряжениях в районе перехода через порог упругости этот закон нарушается, так как необратимая деформация сопровождается выделением тепла. Тепловая энергия, обусловленная внутренним трением, возникающим от деформации металла под влиянием циклической нагрузки, является частью общей энергии и рассеивается в окружающей среде. Анализируя зависимость температуры на поверхности образца от прикладываемых к нему нагрузок, можно определить переходное напряжение, очень близкое к условному пределу выносливости, называемому температурным аналогом $s-1(T)$.

Преимущества данного подхода по сравнению со стандартным методом многоцикловых испытаний:

- возможность проведения усталостных испытаний при ограниченном количестве экспериментальных образцов;
- определение пределов выносливости уникальных и дорогостоящих деталей, преждевременная поломка которых в процессе испытаний недопустима;
- повышение эффективности проводимых конструктивных и технологических изменений на одном и том же образце, нивелирующее отрицательное влияние статистической природы усталостного разрушения на получаемые результаты;
- определение в короткий срок предела выносливости детали, при этом испытываемый образец не доводится до разрушения, в частности, когда априори известна ожидаемая величина предела выносливости.

Рассматривая колесо как термодинамическую систему, можно получить формулу для расчета скорости роста температуры:

$$\frac{dT}{dt} = b_1 \cdot S(\sigma) + b_2 \cdot P(T),$$

где $S(\sigma)$ — площадь петли гистерезиса, являющаяся функцией механического напряжения σ , а $P(T)$ — мощность теплоотвода, являющаяся функ-

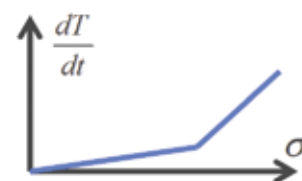


Рис. 1. Предполагаемое поведение функции скорости роста температуры в зависимости от механического напряжения

а)

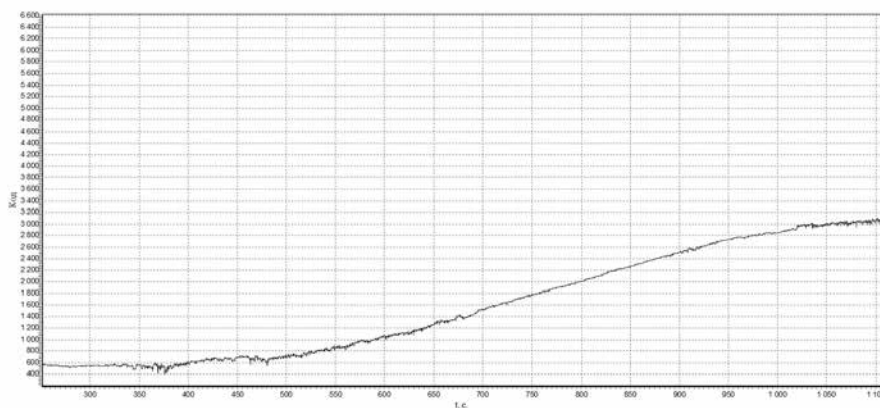


Рис. 2. Характерная кривая роста температуры, записанная с помощью термоспротивления тс-224 и измерительного комплекса mic-026 (а); и скорость роста температуры в зависимости от напряжения по данным измерительного комплекса mic-026 (б)

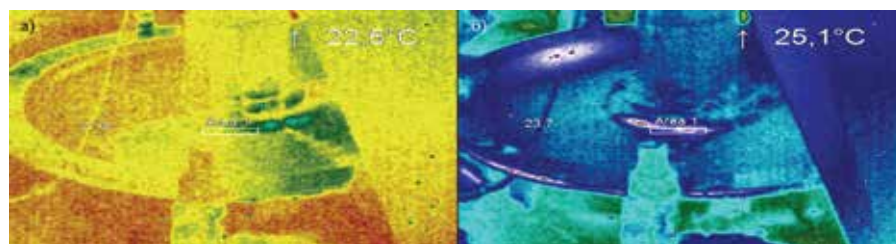


Рис. 3. Измерение температурного прироста с использованием тепловизора PI 160

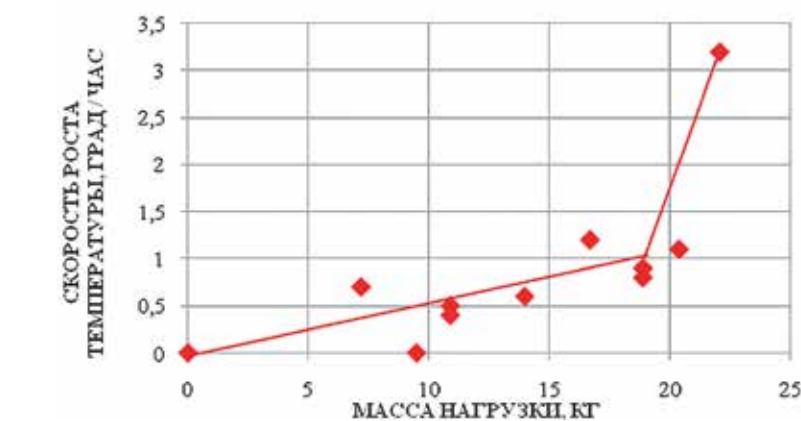


Рис. 4. Скорость роста температуры в зависимости от напряжения по данным, полученным с использованием тепловизора PI 160

цией температуры T . Частная производная по σ вот скорости роста температуры дает

$$\frac{\partial \left(\frac{dT}{dt} \right)}{\partial \sigma} = b_1 \cdot \frac{\partial S}{\partial \sigma}$$

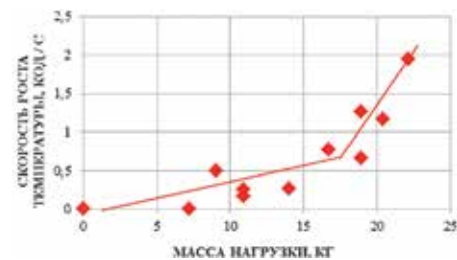
В пределах упругой деформации $\frac{\partial S}{\partial \sigma} \approx 0$, а в пластической зоне $\frac{\partial S}{\partial \sigma} \geq 0$; следовательно, на графике $\frac{dT}{dt} = f(\sigma)$ должна присутствовать точка перелома кривой.

Для подтверждения изложенного был проведен эксперимент, в ходе которого определялось приращение температуры в заранее определенной (наиболее напряженной) зоне на колесе при

различных значениях механического напряжения в ней. Приращение температуры в течение 1 часа (до установившейся) определялось с использованием термоспротивления тс-224 с измерительным комплексом mic-026 и по показаниям тепловизора optrisPI 160. Результаты наблюдений приведены на рис. 2–5.

На рис. 2а видно область практически линейного прироста температуры, где и определялось $\frac{dT}{dt}$. По результатам обработки подобных кривых разогрева была построена точечная диаграмма (рис. 2б), отображающая вид зависимости $\frac{dT}{dt} = f(\sigma)$.

б)



По результатам тепловизионных измерений также была построена точечная диаграмма зависимости температурного прироста от механического напряжения. Результаты представлены на рис. 3б.

По данным диаграммам (рис. 2б, 4) были получены оценки пределов выносливости ходового колеса 140 и 152 МПа. Среднее значение составляет 146 МПа.

Результаты измерений зависимостей прироста температуры от величины механических напряжений (рис. 1) двумя способами (термоспротивлением и тепловизионным) подтвердили наличие перелома кривой при ее линейной аппроксимации, при этом оценки пределов выносливости обоими методами оказались сопоставимы.

В ходе работы выяснилось, что необходимы результаты циклических испытаний для контрольного сравнения и подтверждения полученных оценок пределов выносливости. ■

Литература

1. ГОСТ 31373-2008. Колесные пары локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Расчеты и испытания на прочность.
2. ОСТ 32.83-97. Колеса с дисковыми центрами тягового подвижного состава. Расчеты и испытания на прочность. Методические указания.
3. EN 13260:2009+A1:2010: Railway applications – Wheelsets and bogies – Wheelsets – Product requirements [Required by Directive 2008/57/EC].
4. Гречищев Е. С., Дмитриш В. А. О температурном аналоге процесса разрушения материалов при переменных нагрузках // Тр. ВНИТИ. Повышение эксплуатационной надежности тепловозов. 1979. № 50.