

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Изложена методика ускоренных неразрушающих испытаний, позволяющая с высокой точностью определять предел выносливости металлических образцов как в состоянии поставки, так и после предварительных нагружений или различных технологических операций.

Определение предела выносливости металлов является актуальной проблемой материаловедения. Ошибка при его оценке может привести либо к неоправданному утяжелению конструкции, либо к её быстрому усталостному разрушению.

Известно, что при напряжениях, близких к пределу циклической пропорциональности $\sigma_{пр}^H$, возникают неупругие деформации, вносящие нелинейность в зависимости напряжение – деформация, напряжение – затрачиваемая мощность и приводящие к усиленному тепловыделению. Номинальное напряжение σ_a , при котором наступает резкое нарастание теплового потока в функции нагрузки, полагают соответствующим пределу выносливости $[\sigma_{-1}]_H$. Однако по графическому изображению экспериментально полученной функции

(1)

определить невозможно, так как кривизна линии, соединяющей экспериментально полученные дискретные значения, изменяется плавно. Поэтому для определения предела выносливости используют искусственные приёмы.

По методу Лера [1] к двум ветвям функции (1) – допредельной и запредельной - проводят касательные, находят точку их пересечения, а абсциссу этой точки принимают за предел выносливости. Существенный недостаток указанного метода состоит в том, что касательные не могут быть проведены однозначно, поскольку обе ветви нелинейны на всём протяжении.

Предлагаемая методика основана на проведенных нами исследованиях и позволяет с высокой точностью определять предел выносливости образцов, нагруженных на циклический изгиб.

Такие исследования проведены в процессе серии экспериментов с использованием машины для усталостных испытаний на круговой изгиб МУИ-6000 с автоматизированной программой для программированного нагружения. Нагрев металлического образца типа VIII, ГОСТ 2860 определялся путем измерения температуры его рабочей части с помощью инфракрасного пирометра, чувствительного в диапазоне волн 1,8 - 20 мкм [2]. Измерялась также энергия, рассеиваемая рабочей частью образца.

Полученные результаты свидетельствуют о зависимости следующего вида:

(2)

(3)

где Θ_p – рассеиваемая энергия, Вт/см²; k_1 и k_2 – постоянные коэффициенты; σ_a – амплитуда нагружения, МПа; $\sigma_{\text{пр}}^{\text{II}}$ – циклический предел пропорциональности; $[\sigma_{-1}]_{\text{II}}$ – предел выносливости при циклическом изгибе.

Естественно предположить, что предел выносливости можно получить, определив зависимости (2) и (3) количественно и найдя точку, в которой функция (2) заменяется функцией (3). С целью проверки этой гипотезы были испытаны тридцать образцов из стали 45 по следующей методике.

Так называемая тепловая характеристика образца

$$\Theta_i = f(\sigma_a)$$

снимается в состоянии поставки. Для этого образец нагружается от 120 МПа с интервалом 12 МПа при длительности ступени нагружения 20 с до отклонения стрелки на индикаторе инфракрасного пирометра, что указывает на начало разогрева материала. На этом уровне нагружение повторяется многократно, причём после каждого нагружения образец охлаждается до исходной температуры. Если нагрев не увеличивается при десятикратном повторении, то переходят на следующую ступень. Увеличение температуры при повторных нагружениях свидетельствует о начале необратимых деформационных процессов.

Для всех образцов это явление обнаруживается при амплитудах напряжений, соответствующих разогреву образца до температуры $\Theta_i = 0,3 \text{ К}$. Это напряжение было обозначено через $\sigma_a^{0,3}_{\text{исх}}$. В дальнейшем материал может подвергаться предварительному нагружению разного уровня, длительности и характера, механической, тепловой обработке, нанесению покрытий разных видов. Для определения влияния любого из перечисленных факторов на состояние материала снова снимается характеристика до достижения $\sigma_a^{0,3}$ на той же машине с той же установкой, если образец снимался. После определения $\sigma_a = \sigma_a^{0,3}$ блоки повторяются, причем минимальное напряжение блока выбирается на 36 – 60 МПа ниже полученного $\sigma_a^{0,3}$. Повторение блоков ведётся до получения стабильного напряжения, при котором $\Theta_i = 0,3 \text{ К}$. Это напряжение является новой тепловой характеристикой $\sigma_{ai}^{0,3}$. Характеристика $\sigma_a^{0,3}$ соответствует постоянной скорости роста микропластических деформаций при изменяющихся значениях напряжений и, таким образом, служит сравнительной оценкой качества материалов. Тепловая характеристика $\sigma_a^{0,3}$ может быть использована как контрольная. Она отражает существенный момент в неупругой деформации – "взрывную деформацию", которая оказывает разрушающее воздействие, однако минимально возможное, чтобы быть обнаруженным. С помощью этой характеристики можно получить объективную информацию о состоянии металла конкретного образца в ходе процесса деформации. Она выявляет индивидуальные качества образцов, позволяет установить максимальное напряжение, которое для данного образца является критически разрушающим. Значения $\sigma_a^{0,3}$, получаемые для различных образцов, отображают разброс их прочностных качеств. Ниже области нахождения $\sigma_a^{0,3}$ партии образцов из одного и того же материала лежит область базисных деформаций всей партии. В большинстве случаев $\sigma_a^{0,3}_{\text{исх}}$ для стали 45 лежит в районе условного предела выносливости $[\sigma_{-1}]_{\text{II}}$. Детерминированная зависимость $\sigma_a^{0,3}$ от состояния материала в процессе циклического деформирования позволяет использовать ее для исследования зако-

номерностей изменения этого состояния под воздействием экспериментальных и технологических факторов. При этом все оценки производятся на одном образце, что исключает вероятностный подход к оценке полученных результатов.

Для тридцати образцов, испытанных по описанной методике, была получена усредненная зависимость, показанная на рис. 1 (кривая 1). Затем по методу неопределенных коэффициентов были найдены значения констант k_1 , m и $\sigma_{пр}^u$, входящих в уравнение (2)

$$k_1 = 2,57 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{МПа}^2); m=2; \sigma_{пр}^u = 193,32 \text{ МПа}.$$

Подстановка в уравнение (2) задействованных в эксперименте значений показала, что отклонение от квадратичной зависимости происходит между значениями σ_a , равными 232 и 238 МПа. Аналогично были получены значения k_2 и n после испытаний образцов при предельных нагрузках:

$$k_2 = 2,04 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{МПа}^{3,3}).$$

Математическая аппроксимация зависимости приращений мощности теплового излучения Θ_p от напряжения в материале хорошо согласуется с экспериментальными данными, а резкое отклонение от зависимости (2) наблюдается между значениями 238 и 232 МПа, т.е. в той области, где такое же отклонение имеется для допредельной части функции. Приравняв правые части уравнений (2) и (3), находим критическое значение $[\sigma_{-1}]_u$. Расчетные значения функции (1) нанесены на рис. 1 (кривая 2). Найденное значение $[\sigma_{-1}]_u$ и близко к пределам выносливости, определяемым для стали 45 другими способами [3]. Скачкообразное изменение скорости нарастания функции наиболее наглядно проявляется на графике ее производной (кривая 3).

Аналогичные результаты получены и другим способом: анализом кривых приращения мощности теплового потока в функции времени при различных амплитудах напряжений σ_a . Образец из стали 35 нагружали в диапазоне 118–274 МПа. На каждом уровне нагружение длилось 2 мин. Через каждые 10 с фиксировали приращение мощности теплового потока. Непосредственно после первого эксперимента был проведен второй на том же образце и по той же программе.

Полученные для первого и второго эксперимента результаты показаны в виде групп кривых *a* и *b* на рис. 2. Кривые, полученные при напряжениях 4-7 группы *a* и 3-6 группы *b*, свидетельствуют о нестабильности изменения Θ_p с ростом амплитуды напряжений. С уровня 8 группы *a* и уровня 7 группы *b* рост Θ_p стабилизируется. Таким образом, существует область неупорядоченного возрастания приращения мощности теплового потока. Из работы [4] известно, что именно внутри нее лежит предел выносливости $[\sigma_{-1}]_u$.

Поскольку закономерность изменения величины $[\sigma_{-1}]_u$ проявляется уже через 15-28 с работы, можно значительно сократить время испытаний и, следовательно, уменьшить влияние разогрева бабок машины на мощность теплового излучения образца, тем самым повысив точность определения искомых параметров.

На основании изложенной методики был разработан способ определения предела выносливости металлов, отличающийся повышенной точностью [5].

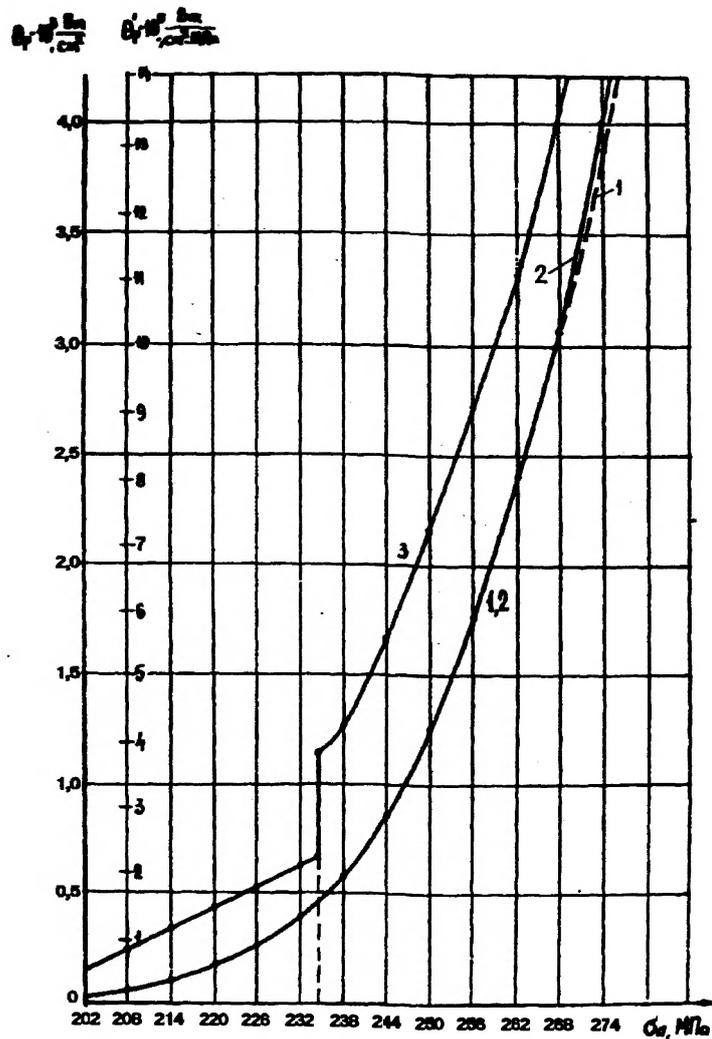


Рис. 1. Усредненная по тридцати образцам зависимость нарастания потока энергии Θ_p , рассеиваемой рабочей частью образца:

1 – экспериментальная; 2 – расчетная; 3 – $\frac{d\Theta_p}{d\sigma}$

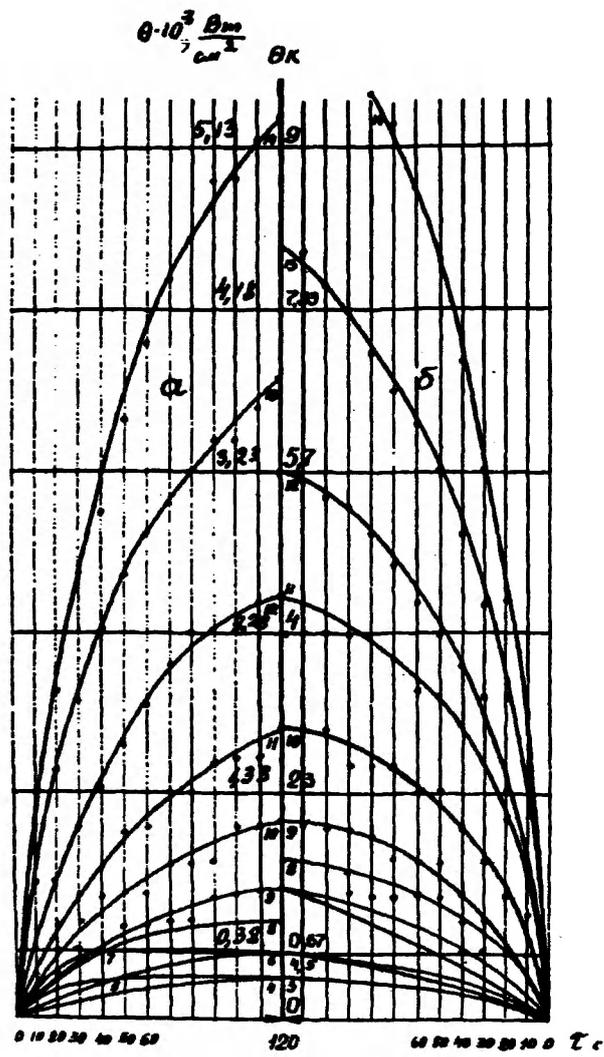


Рис. 2. Семейство кривых нарастания удельной мощности излучения образцов из стали 35 в состоянии поставки (а) и после предварительного нагружения (б):

1-14 – соответственно нагрузка 118, 130, 142, 154, 166, 178, 190, 202, 214, 262, 274 МПа

Список литературы

1. *Троценко В.Т.* Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наук. думка, 1981. – 343 с.
2. *Канарчук В.Е., Деркачев О.Б., Желнов Г.Н., Дмитриев Н.Н.* Методика ускоренных испытаний стальных образцов на усталость // Заводская лаборатория. – 1988. – №3. – С. 75-77.
3. *Методы неразрушающих испытаний* // Под ред. Д. Шарпа. – М.: Мир, 1972. – 494 с.
4. *Троценко В.Т.* Усталость и неупругость металлов. – Киев: Наук. думка, 1971. – 267 с.
5. *А.с. 1379689.* Способ определения предела выносливости / Н.Н. Дмитриев, В.Е. Канарчук, О.Б. Деркачев. Бюл. № 9.

Стаття надійшла до редакції 30 червня 1997 року.

Микола Миколайович Дмитрієв (1946) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1970 році. Кандидат технічних наук професор Українського транспортного університету, завідуючий лабораторією в Інституті проблем матеріалознавства НАН України, головний вчений секретар Транспортної академії України. Автор понад 120 наукових публікацій в галузі надійності та довговічності машин та споруд, термометричної діагностики.

Mykola M. Dmitriev (b. 1946) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1970). PhD (Eng) professor of Transport University of Ukraine, Head of laboratory in the Institute of study of materials of Ukrainian National Academy of Science. Scientific Office senior secretary of Transport Academy. Author of more than 120 publications in the field of reliability and longservice of machines and constructions, termometric diagnostics.



Андрій Васильович Скрипець (1945) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1969 році. Кандидат технічних наук професор завідуючий кафедрою технічної експлуатації авіаційних електрифікованих і пілотажно-навігаційних комплексів повітряних суден, начальник науково-дослідної частини Київського міжнародного університету цивільної авіації. Автор понад 130 наукових праць в галузі авіаційної ергономіки та удосконалення технічної експлуатації авіаційного обладнання.

Andrey V. Skripets (b. 1945) graduated from Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1969). PhD (Eng) professor, Head of technical maintenance of aviation electrical and pilot-navigational complexes of aircrafts, chief administrator of scientific and design department of Kyiv International University of Civil Aviation. Author of more than 130 publications in the field of aircraft ergonomics and perfection of aviation equipment maintenance.

