

А. С. Левинский, М. А. Голофеева, к.т.н., В. О. Шворинь, С. М. Урсол

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТА ПРИБОРАМИ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены вопросы измерения температуры с помощью приборов инфракрасной техники. В край актуальным вопросом является дистанционное измерение действительного значения температуры при неизвестной излучательной способности исследуемого тела. Проведен анализ факторов, влияющих на точность измерения температуры. Представлено исследование влияния угла наблюдения на коэффициент излучающей способности.

Ключевые слова: температура, коэффициент излучательной способности, погрешность измерения, тепловизионный контроль, инфракрасная техника.

A. Levinskiy, M. Holofieva, PhD, V. Shvorin, S. Ursol

EXPERIMENTAL STUDY OF THE OBJECT TEMPERATURE USING INFRARED DEVICES

Temperature measurement issues using infrared devices are considered. The topical issue is the remote measurement of the actual temperature values of the tested body when its emissivity is unknown. The analysis of factors influencing the accuracy of the temperature measurement is given. The study of the angle of observation influence on the emissivity coefficients is presented.

Keywords: temperature, emissivity, measurement error, thermal control, infrared technology.

УДК 621.787:539.4

В. С. Кравчук¹, к.т.н., А. Ф. Дашенко¹, д.т.н., Л. В. Коломиец², д.т.н., А. М. Лимаренко¹, к.т.н.

¹Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

²Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

ОБ ОЦЕНКЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Рассмотрены особенности оценки циклической прочности деталей машин. Показана необходимость применения вероятностных методов, опирающихся на эксперименты в статистической постановке. Предложены расчетные зависимости для оценки среднего квадратического отклонения пределов выносливости поверхностно упрочненных деталей машин. Показано, что упрочнение поверхностным пластическим деформированием снижает рассеяние сопротивления усталости.

Ключевые слова: циклическая прочность, детали машин, поверхностное упрочнение, вероятностные методы расчетов.

Введение

Для деталей, работающих в эксплуатации при повторно-переменных напряжениях, особое значение имеет предотвращение усталостного разрушения с его стремлением экономно расходовать материал на деталь. Однако добиться этого нелегко, так как при решении задач прочности основную роль играют конструктивно-технологические факторы, теоретический учет которых сложен. В ответственных случаях для их оценки проводят специальные дорогостоящие эксперименты, которые трудоемки и требуют огромных временных затрат. Для деталей и элементов

конструкций подобные испытания проводить не всегда возможно и целесообразно. Поэтому особое значение имеют практические расчеты по критерию сопротивления усталости в соответствии с детерминированными подходами, которые проводят, назначая коэффициенты запаса прочности, исходя из условий работы конструкции, и на этой основе определяют максимальное расчетное напряжение, возникающее в опасном сечении детали [1],

$$\sigma_{\text{рас}} \leq \sigma_{-1Д}/n, \quad (1)$$

где $\sigma_{-1д}$ – предел выносливости рассчитываемой детали; n – коэффициент запаса прочности.

Анализ последних исследований и публикаций

В различных отраслях машиностроения разработаны нормы прочности, которые регламентируют запасы прочности и особенности их определения [1, 2]. Определение пределов выносливости в каждом конкретном случае связано с известными трудностями. Объясняется это тем, что предел выносливости детали, определяющий ее предельную несущую способность при базовом числе циклов напряжений, существенно зависит от ряда факторов. Важнейшими из них при данном виде нагрузки являются: конструктивная форма (концентрация напряжений), абсолютные размеры, состояние поверхности, поверхностное упрочнение и др.

Предел выносливости $\sigma_{-1д}$ детали с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов находят по пределу выносливости σ_{-1} ее материала, определенному путем испытаний гладких цилиндрических лабораторных образцов диаметром $d_0 = 7 \div 10$ мм на базе $N_\sigma = 5 \cdot 10^6 \div 10^7$ циклов при симметричном круговом изгибе.

В соответствии с ГОСТ 25.504

$$\sigma_{-1д} = \sigma_{-1} / f(K_\sigma, K_{d\sigma}, K_F, K_V). \quad (2)$$

Здесь $f(K_\sigma, K_{d\sigma}, K_F, K_V)$ – функция, которая учитывает влияние конструктивных и технологических факторов, где K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений в месте расположения концентратора, отражающий фактическое снижение прочности детали диаметром d по отношению к детали того же размера без концентратора напряжений; $K_{d\sigma}$ – масштабный фактор, отражающий снижение предела выносливости детали с ростом абсолютных размеров поперечного сечения; K_F – коэффициент влияния качества обработки поверхности; K_V – коэффициент влияния поверхностного упрочнения.

Существенным недостатком детерминированных условий прочности является то, что они не учитывают должным образом неизбежное рассеяние показателей внешних воздействий и прочностных свойств материалов реальных объектов. Во многих случаях они уже не удовлетворяют современным требованиям. На

смену им приходят вероятностные методы расчета, опирающиеся на эксперименты в статистической постановке.

Перспективным, как показывает практика, является применение статистической теории подобия, которая дает описание влияния концентрации напряжений, масштабного эффекта, формы поперечного сечения и вида нагрузки на предел выносливости [3]. Влияние поверхностного упрочнения можно учесть с помощью поправочного коэффициента K_V , входящего в выражение (2) для коэффициента снижения предела выносливости. Вместе с тем, этот фактор может быть отражен и в самой теории путем введения понятия об эквивалентной детали, равнопрочной действительной поверхностно упрочненной детали [4, 5].

Цель работы

Разработать метод расчета значений среднего квадратического отклонения предела выносливости для вероятностной оценки сопротивления усталости упрочненных деталей машин.

Изложение основного материала

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что для вероятностной оценки сопротивления усталости поверхностно упрочненных деталей необходимо наличие значений среднего квадратического отклонения S предела выносливости поверхностно упрочненных деталей.

Предложены расчетные зависимости для оценки рассеяния пределов выносливости поверхностно упрочненных деталей из конструкционных сталей, основанные на уравнении подобия усталостного разрушения, усталостная трещина в которых зарождается на глубине упрочненного слоя Δ_d или с поверхности.

Так, при зарождении усталостной трещины на относительной глубине упрочненного слоя $\Delta = \Delta_d / d$ (d – диаметр рассчитываемой детали) рассеяние пределов выносливости упрочненных деталей можно определять по зависимости

$$S = \lg \left[\frac{\xi_{-1дy} - 1 - \Delta^{3\alpha_{\sigma-2}}}{\bar{\xi}_{-1дy} - 1 - \Delta^{3\alpha_{\sigma-2}}} \right], \quad (3)$$

где $\xi_{-1дy}$ – отношения максимального напряжения эквивалентной детали в зоне концентратора $\sigma_{max.э} = \alpha_\sigma \sigma_{-1дy}$ соответственно к нижней (минимальной) границе $\sigma_{н.г}$ поверхностно упрочненной (эквивалентной) детали;

α_σ – теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Отношения $\xi_{-1дy}$, $\bar{\xi}_{-1дy}$ соответствуют вероятностям разрушения соответственно 84,1 % и 50 %. Для пластичных деформируемых сталей рекомендуется принимать $\sigma_{н.г} = 0,5 \bar{\sigma}_{-1y}$ [4, 5], тут $\bar{\sigma}_{-1y}$ – медианное значение предела выносливости гладких лабораторных образцов диаметром $d_0=7,5$ мм, изготовленных из материала эквивалентной детали.

В таблице 1 представлены результаты усталостных испытаний, не упрочненных и упрочненных поверхностным пластическим деформированием образцов и статистической их обработки. Образцы изготовлены из улучшенной стали 40X с механическими характеристиками

$\sigma_{0,2} = 750$ МПа и $\sigma_B = 940$ Мпа. Усталостные испытания проводились по методу «вверх-вниз». Из таблицы видно, что среднее квадратическое отклонение $S_{\bar{\sigma}_{-1y}}$ медианного значения предела выносливости $\bar{\sigma}_{-1y}$ упрочненных образцов во всех случаях меньше его значения для не упрочненных образцов. Среднее квадратическое отклонение пределов выносливости на базе $N_6 = 5 \cdot 10^6$ циклов уменьшается соответственно в $1,8 \div 2,2$ раза для упрочненных образцов с концентраторами напряжений и в $1,6 \div 1,8$ раза для гладких упрочненных образцов. Выборочный коэффициент вариации $v = S/\bar{\sigma}_{-1y}$ для упрочненных образцов составляет $(0,7 \div 1,4)\%$, а для не упрочненных – $(1,2 \div 3,5)\%$.

Таблица 1 – Результаты усталостных испытаний образцов из стали 40X

d_d , мм	α_σ	Количество образцов		$\bar{\sigma}_{-1}$	$S_{\sigma-1}$	v , %
		разрушенных	не разрушенных			
Не упрочненные						
7,5	1,80	11	13	278	9,67	3,5
10	1,69	11	10	303	8,11	2,7
7,5	1,47	11	12	315	6,37	2,0
10	1,33	11	10	343	6,02	1,8
7,5	1,00	10	12	445	6,95	1,6
15	1,00	12	11	411	4,75	1,2
Упрочненные, $\Delta = 0,10$						
7,5	1,80	13	12	364	4,39	1,3
10	1,69	13	12	379	4,41	1,2
7,5	1,47	11	10	403	3,06	0,8
10	1,33	10	10	423	3,05	0,7
7,5	1,00	11	10	482	3,87	0,8
15	1,00	11	10	453	3,06	0,7

Для случая, когда упрочненные детали разрушаются с поверхности, выражение (3) неприменимо для вычисления среднего квадратического отклонения S .

Для вычисления рассеяния пределов выносливости упрочненных деталей, разрушающихся с поверхности, рекомендуется зависимость

$$S = \lg \frac{\xi_{-1д} \beta_1 \beta - 1}{\xi_{-1д} \beta_1 \beta - 1}, \quad (4)$$

где $\beta_1 = H_{yn}/H_c$ – соотношение твердости упрочненного поверхностного слоя H_{yn} и твердости H_c материала не упрочненной детали (сердцевины) выражает повышение предела выносливости детали за счет изменения механиче-

ских характеристик поверхностно упрочненного слоя, а соотношение $\beta = \sigma_a/\sigma_{-1}$ – за счет возникающих в результате упрочнения остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое (отношения амплитудных напряжений цикла σ_a к пределу выносливости σ_{-1} при симметричном цикле для исходного материала). Если остаточные напряжения в упрочненном слое известны, то их следует рассматривать как средние напряжения асимметричного цикла (появившиеся в результате действия остаточных напряжений) и по ним, пользуясь диаграммой относительных предельных амплитуд напряжений при асимметричных циклах, определить значение β .

Выводы

Предложены зависимости, которые позволяют дифференцированно расчетным путем оценить значение среднего квадратического отклонения предела выносливости для вероятностной оценки сопротивления усталости упрочненных деталей машин. Установлено, что поверхностное пластическое деформирование снижает рассеяние сопротивления усталости: среднее квадратическое отклонение пределов выносливости уменьшается, а циклическая прочность повышается.

Список использованных источников

1. Серенсен С. В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / С. В. Серенсен, В. П. Когаев, Р. М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.
2. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, В. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
3. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.

4. Дашенко А. Ф. Несущая способность упрочненных деталей машин / А. Ф. Дашенко, В. С. Кравчук, В. Д. Иоргачев. – Одесса: Астропринт, 2004. – 160 с.

5. Кравчук В. С. Графоаналитический метод определения эффекта упрочнения поверхностно упрочненных деталей машин / В. С. Кравчук, А. Ф. Дашенко, А. М. Лимаренко // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2016. – Вип. 1(8). – с. 79 – 82.

6. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

Поступила в редакцию 13.06.2017

Рецензент: д.т.н., проф. Усов А. В., Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса.

В. С. Кравчук, к.т.н., О. Ф. Дашенко, д.т.н., Л. В. Коломієць, О. М. Лимаренко, к.т.н.

ПРО ОЦІНКУ ЦИКЛІЧНОЇ МІЦНОСТІ ПОВЕРХНЕВО ЗМІЦНЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Розглянуто особливості оцінки циклічної міцності деталей машин. Показана необхідність застосування імовірних методів, які базуються на експериментах в статистичній постановці. Пропонуються розрахункові залежності для оцінки середнього квадратичного відхилення границь витривалості поверхнево зміцнених деталей машин. Показано, що зміцнення поверхневим пластичним деформуванням зменшує розсіювання опору втомленості.

Ключові слова: циклічна міцність, деталі машин, поверхневе зміцнення, імовірні методи розрахунків.

V. S. Kravchuk, PhD, O. F. Daschenko, DSc, L. V. Kolomiets, DSc, A. M. Limarenko, PhD

ABOUT ESTIMATION OF CYCLIC STRENGTH OF SURFACE-DETAILED DETAILS OF MACHINES

Features of the evaluation of the cyclic strength of machine parts are considered. The necessity of applying probabilistic methods based on experiments in a statistical formulation is shown. Calculated dependences are proposed for estimating the mean square deviation of the endurance limits of surface hardened machine parts. It is shown that hardening by surface plastic deformation reduces the dispersion of fatigue resistance.

Keywords: cyclic strength, machine parts, surface hardening, probabilistic calculation methods.