

УДК 539.4:621.787

В.С. Кравчук, канд. техн. наук, доц.,
А.М. Лимаренко, магистр,
 Одес. нац. политехн. ун-т

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНО-УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В.С. Кравчук, О.М. Лимаренко. Вплив конструктивно-технологічних факторів на коефіцієнт запасу міцності поверхнево-зміцнених деталей машин. Розглянуто особливості визначення коефіцієнта запасу міцності деталей машин із зміцненим поверхневим шаром і запропоновано розрахункові залежності для його обчислення.

V.S. Kravchuk, A.M. Limarenko. Influence of design and technology factors upon safety coefficient of superficially hardened machine parts. Some peculiarities of determining the safety coefficient of superficially hardened machine parts are considered and the computational dependencies for its calculation are proposed.

На коэффициент запаса прочности поверхностно-упрочненных деталей машин оказывает существенное влияние ряд факторов: состав и структура материала, вид напряженного состояния и характер изменения его во времени, форма и размеры деталей, состояние поверхности, конструктивные решения и технологические методы повышения эксплуатационных свойств и др. В связи с этим определить расчетным методом действительный коэффициент запаса прочности для реальных, а тем более поверхностно упрочненных деталей, в которых, как правило, действуют многие из перечисленных факторов, чрезвычайно трудно. В современном машиностроении весьма актуальна также тенденция снижения запасов прочности и материалоемкости машин и конструкций, что требует дальнейших как теоретических, так и экспериментальных исследований, обобщения уже выполненных в этой области исследований.

В традиционных инженерных расчетах коэффициент запаса усталостной прочности n_σ для регулярного нагружения с амплитудой σ_a и средним напряжением цикла σ_m можно определить по формуле, [1]

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1)$$

где σ_{-1} — значение предела выносливости для совокупности всех плавок металла данной марки гладких лабораторных образцов диаметром $d_0=7,5$ мм, изготовленных из заготовок диаметром d , равным диаметру рассматриваемой детали;

K — коэффициент понижения предела выносливости, учитывающий влияние концентрации напряжений K_σ , абсолютных размеров поперечного сечения $K_{d\sigma}$, качества обработки поверхности $K_{F\sigma}$ и поверхностного упрочнения K_v ;

ψ_σ — коэффициент влияния асимметрии цикла на выносливость.

Значение коэффициента K в соответствии с ГОСТ 25.504-82 может быть определено при растяжении-сжатии или изгибе по формуле

$$K = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1 \right) \cdot K_v^{-1}. \quad (2)$$

Величина ψ_σ в выражении (1) определяется по результатам испытаний на усталость гладких лабораторных образцов при симметричном и асимметричном циклах напряжения.

Формулу (1) можно записать в виде

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K(\sigma_a + \psi_{\sigma d} \sigma_m)}, \quad (3)$$

где $\psi_{\sigma d} = \frac{\Psi_{\sigma}}{K}$ — коэффициент, учитывающий как влияние асимметрии цикла, так и влияние формы, размеров детали, качества обработки поверхности и поверхностного упрочнения.

Изучение характера разрушения поверхностно-упрочненных образцов и деталей при действии повторно-переменных напряжений показало, что усталостная трещина при определенных условиях может зародиться под упрочненным слоем (подслойное разрушение) или у поверхности детали [2, 3].

Для подслояного разрушения упрочненных деталей коэффициент $K_{F\sigma}$ не зависит от шероховатости поверхности. Следовательно, при $K_{F\sigma} = 1$ выражение (2) приводится к виду

$$K = \frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma} \cdot K_v}. \quad (4)$$

Отношение $\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}}$ определим, исходя из уравнения подобия усталостного разрушения [1].

Для случая подслояного разрушения упрочненной детали значение предела выносливости можно вычислить из уравнения подобия усталостного разрушения [3]

$$\sigma_{-1d\bar{v}} = \sigma_{-1\bar{v}} \cdot \theta^{v_{\sigma}} / \alpha_{\sigma}, \quad (5)$$

где $\sigma_{-1\bar{v}} = \sigma_{-1} / (1 - \Delta)^{3\alpha_{\sigma} - 2}$ — предел выносливости лабораторных гладких образцов, изготовленных из материала эквивалентной детали, при изгибе вращающегося образца;

Δ — относительное расстояние от поверхности до очага зарождения трещины (относительная толщина упрочненного слоя);

α_{σ} — теоретический коэффициент концентрации напряжений;

$\theta = (L_d / \bar{G}_d) / (L_0 / \bar{G}_0)$ — относительный критерий подобия усталостного разрушения;

L_d и L_0 — периметр или часть периметра рабочего сечения соответственно детали и образца, примыкающие к зоне повышенных напряжений (при изгибе с вращением $L_d = \pi d_d$, $L_0 = \pi d_0$);

\bar{G}_d , \bar{G}_0 — относительный градиент первого главного напряжения в зоне концентрации у дна надреза соответственно образца и детали;

v_{σ} — коэффициент чувствительности материала детали к концентрации напряжений и величине поперечных размеров.

Для круглых деталей

$$L_d / \bar{G}_d = \pi d_d^2 / 2 \cdot (3\alpha_{\sigma} - 2), \quad (6)$$

для лабораторного гладкого образца

$$L_0 / \bar{G}_0 = \pi d_0^2 / 2. \quad (7)$$

На основании соотношений (6) и (7) и выражения для $\sigma_{-1\bar{v}}$ уравнение подобия (5) принимает вид

$$\sigma_{-1d\bar{v}} = \frac{\sigma_{-1}}{\alpha_{\sigma} (1 - \Delta)^{3\alpha_{\sigma} - 2}} \left[\left(\frac{d_d}{d_0} \right)^2 (3\alpha_{\sigma} - 2)^{-1} \right]^{-v_{\sigma}}. \quad (8)$$

Влияние абсолютных размеров поперечного сечения для упрочненной детали из выражения (8) получаем в виде зависимости

$$K_{d\sigma} = \frac{\sigma_{-1\text{ДУГЛ}}}{\sigma_{-1}} \left(\frac{d_{\text{Д}}}{d_0} \right)^{-2\nu_{\sigma}} (1-\Delta)^{-1}. \quad (9)$$

Эффективный коэффициент концентрации напряжений поверхностно-упрочненной детали находится как

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1\text{ДУГЛ}}}{\sigma_{-1\text{ДУ}}} = \frac{\alpha_{\sigma}(1-\Delta)^{3\alpha_{\sigma}-2}}{(1-\Delta)(3\alpha_{\sigma}-2)^{\nu_{\sigma}}}. \quad (10)$$

Подставив в уравнение (4) выражения (9) и (10), получим

$$K = \alpha_{\sigma}(1-\Delta)^{3\alpha_{\sigma}-2} \left[\left(\frac{d_{\text{Д}}}{d_0} \right)^2 (3\alpha_{\sigma}-2)^{-1} \right]^{-\nu_{\sigma}} K_{\nu}^{-1}. \quad (11)$$

Коэффициент K_{ν} можно определить по формуле

$$K_{\nu} = \frac{1}{(1-\Delta)^{3\alpha_{\sigma}-2}}. \quad (12)$$

Тогда, в соответствии со структурой формулы (12) выражение (11) принимает вид

$$K = \alpha_{\sigma} \left[\left(\frac{d_{\text{Д}}}{d_0} \right)^2 (3\alpha_{\sigma}-2)^{-1} \right]^{-\nu_{\sigma}} K_{\nu}^{-2}. \quad (13)$$

Для определения показателя степени ν_{σ} , как параметра уравнения подобия усталостного разрушения, рекомендуется использовать зависимость [2]

$$\nu_{\sigma} = -0,128 + 0,0911g(\sigma_{-1}/(1-\Delta)^{3\alpha_{\sigma}-2}). \quad (14)$$

Зависимости (3), (12)...(14) позволяют на стадии проектирования определять коэффициент запаса прочности при регулярном нагружении поверхностно-упрочненных деталей с учетом характеристик цикла переменных напряжений, размеров поперечного сечения и концентрации напряжений, чувствительности материала к концентрации напряжений и асимметрии цикла, с учетом свойств упрочненных слоев и сердцевины.

Литература

1. Когаев В.П. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность: Справ. / Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. — М.: Машиностроение, 1985. — 224 с.
2. Дашенко А.Ф. Несущая способность упрочненных деталей машин / Дашенко А.Ф., Кравчук В.С., Иоргачев В.Д. — Одесса: Астропринт, 2004. — 160 с.
3. Олейник Н.В. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин / Олейник Н.В., Кычин В.П., Луговской А.Л. — К.: Техника, 1984. — 151 с.

Поступила в редакцию 5 октября 2005 г.