

УДК 621.78

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

С. П. РУДЕНКО

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Разработка новых экономнолегированных сталей требует обоснованного определения пределов выносливости с учетом современных условий металлургического производства. Большая трудоемкость экспериментальных работ по исследованию характеристик сопротивления усталости зубчатых колес актуализирует расчетные методы исследований, основанные на накопленных результатах экспериментальных исследований зависимостей между механическими свойствами и характеристиками сопротивления усталости.

В докладе представлена методика определения пределов выносливости при изгибе зуба зубчатых колес, подвергнутых химико-термической обработке (ХТО), с учетом совместного влияния свойств диффузионного упрочненного слоя и сердцевины, основанная на результатах экспериментальных исследований механических характеристик, остаточных напряжений и натурных испытаний зубчатых колес.

Результаты многочисленных исследований зависимости предела выносливости от механических свойств материала свидетельствуют о существовании линейной зависимости между пределом выносливости при изгибе σ_{-1} и временным сопротивлением σ_B при растяжении. Значительное влияние на сопротивление усталости оказывают остаточные напряжения [1], которые формируются в диффузионном упрочненном слое и сердцевине в процессе ХТО, а также направление волокон металла и масштабный фактор.

В качестве базовой марки стали выбрана сталь 20Х2Н4А, для которой получены механические характеристики при статической обработке 60 плавок [2]: $\sigma_B = 1469$ МПа, $\sigma_T = 1309$ МПа, $\psi = 56,4$ %.

По значениям предела прочности и относительного сужения определяли среднее значение предела выносливости при продольном расположении волокон, соответствующее симметричному циклу нагружения:

$$\sigma_{-1}^{пр} = 0,25 S_K + 43 = 0,25 \sigma_B (1 + 1,35 \psi) + 43 = 690 \text{ МПа.}$$

Значения предела выносливости при поперечном расположении волокон [2]:

$$\sigma_{-1}^{поп} = \sigma_{-1}^{пр} [0,82 - 0,18 \cdot 10^{-3} (\sigma_{-1}^{пр} - 500)] = 542 \text{ МПа.}$$

В зубчатых колесах, изготавливаемых из кованных или штампованных заготовок, при формировании зубьев обработкой резанием наиболее вероятно усредненное направление волокон. В этом случае



$$\sigma_{-1}^{cp} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sigma_{-1}^{np} \cdot \sigma_{-1}^{поп}}{\sqrt{\sigma_{-1}^{np2} + \sigma_{-1}^{поп2}}} = 603 \text{ МПа.}$$

При пульсационном (отнулевом) нагружении

$$\sigma_{Fзак} = 1,3 \sigma_{-1}^{cp} = 1,3 \cdot 603 = 784 \text{ МПа.}$$

Предел выносливости при изгибе зуба поверхностно-упрочненных зубчатых колес после ХТО определяли с учетом остаточных напряжений:

$$\sigma_{Flim} = (\sigma_{Fзак} - 0,2 \cdot \sigma_{ост}) \cdot K_d,$$

где K_d – масштабный фактор, $K_d = 1,03 - 0,008m$.

Величины остаточных напряжений определяли по результатам рентгеноструктурных исследований испытанных зубчатых колес с модулем 7 мм. Получено, что для зубчатых колес партии № 3 величина сжимающих напряжений у поверхности 300 МПа, тогда как для деталей партии № 1 сжимающие напряжения у поверхности равны 1000 МПа и не уменьшаются ниже 600 МПа даже на глубине 0,8...1,2 мм. Для зубчатых колес партии № 2 сжимающие напряжения имеют величину 600 МПа на глубине до 0,25 мм, а затем они резко уменьшаются и переходят в растягивающие на глубине примерно 0,6 мм. Результаты расчета предела выносливости зубчатых колес из стали 20X2H4A приведены в табл. 1.

Табл. 1. Предел выносливости зубчатых колес из стали 20X2H4A после ХТО

Номер партии	Предел выносливости после закалки, МПа	Величина остаточных напряжений, МПа	Предел выносливости после ХТО, МПа
1	784	-1000	954
2	784	-600	877
3	784	-300	819

Полученная расчетная величина предела выносливости зубчатых колес из стали 20X2H4A (партия № 1) $\sigma_{Flim} = 954$ МПа хорошо согласуется с экспериментальными данными [3] и данными ГОСТ 21354–87.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зигварт, Г.** Влияние остаточных напряжений на предел выносливости / Г. Зигварт // Усталость металлов. – Москва: Изд-во иностранной литературы, 1961. – С. 27–30.
2. **Александров, Б. И.** Прочностные характеристики цементуемых сталей, применяемых для зубчатых колес грузовых автомобилей / Б. И. Александров, Н. К. Крумина // Автомобильная промышленность. – 1978. – № 9. – С. 33–34.
3. **Руденко, С. П.** Контактная усталость зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С. П. Руденко, А. Л. Валько. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 126 с.

