

Павлов В.Ф., Филатов А.П., Сургутанова Ю.Н., Каранаева О.В.

**К ВОПРОСУ О НАИБОЛЬШЕЙ ВЕЛИЧИНЕ
СЖИМАЮЩИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Различные виды механической обработки и поверхностного упрочнения приводят к созданию в тонком поверхностном слое деталей сжимающих остаточных напряжений, за счёт которых увеличиваются предел выносливости и циклическая долговечность. Повышение этих характеристик сопротивления усталости обусловлено наличием сжимающих остаточных напряжений – чем выше остаточные напряжения сжатия, тем выше приращение предела выносливости и циклической долговечности. В связи с этим в соответствующих технологиях необходимо стремиться к тому, чтобы сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое детали были как можно выше. Возникает вопрос: каких значений могут достигать эти напряжения?

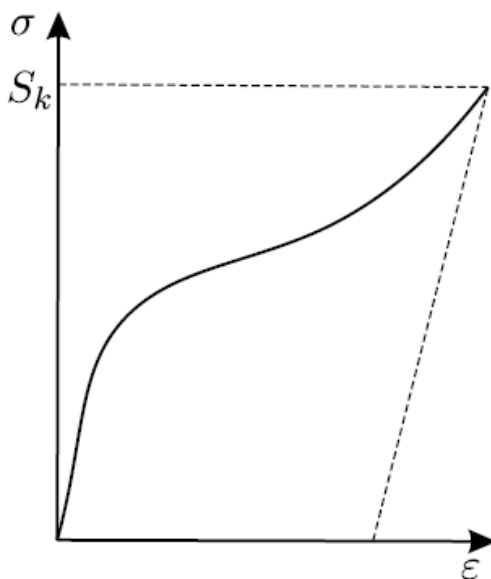


Рис.1. Схематическая диаграмма истинных напряжений

В работе [1] показано, что наибольшая величина остаточных напряжений при плоском напряжённом состоянии может достигать величин, превышающих предел текучести материала детали на 15%. А каково значение предела текучести? При любой обработке, в том числе и упрочняющей, в поверхностном слое кроме сжимающих остаточных напряжений возникает наклёп, характеризующийся повышением механических характеристик материала, в том числе и предела текучести. Поэтому предел текучести упрочнённого поверхностного слоя детали значительно выше предела

текучести ненаклёпанного материала, приведённого в справочной литературе, определяемого при обычных стандартных испытаниях образцов на растяжение или сжатие. Каких же значений может достигать предел текучести упрочнённого материала? На наш взгляд, в рассуждениях о наибольшей величине предела текучести следует исходить из диаграммы истинных напряжений [2] (рис. 1). Из этой диаграммы следует, что наибольшая величина предела текучести материала может достигать значения истинного сопротивления разрыву S_k . Тогда, учитывая положение работы [1], наибольшие остаточные напряжения могут достигать значений, превышающих S_k на 15%.

Для подтверждения сформулированного выше положения были проведены эксперименты на гладких образцах и на образцах с концентраторами напряжений из сталей 30ХГСА, 45 и 12Х18Н10Т. Механические характеристики материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Механические характеристики				
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	S_k , МПа
30ХГСА	788	536	18,9	65,9	1484
Сталь 45	580	300	23	38	1014
12Х18Н10Т	646	281	50,8	65,6	1444

Гладкие образцы диаметром 15 мм из стали 30ХГСА и диаметром 10 мм из стали 45 упрочнялись обкаткой роликом (ОР), а образцы диаметром 10 мм с галтелью радиуса $R = 0,15$ мм из стали 12Х18Н10Т подвергались обработке микрошариками (ОМ). На гладкие упрочнённые роликом образцы наносились надрезы полукруглого профиля радиуса $R = 0,3$ и $0,5$ мм (30ХГСА) и $R = 0,3$ мм (сталь 45).

Эпюры осевых остаточных напряжений σ_z в гладких образцах и в образцах с концентраторами представлены на рис. 2. Можно видеть, что в гладких образцах из сталей 30ХГСА и 45 наибольшие сжимающие остаточные напряжения превышают предел текучести материала на 14% и 57% соответственно. Значительно большее превышение наблюдается в образцах с концентраторами напряжений (рис. 2, б). Для таких образцов наибольшие сжимающие остаточные напряжения превышают предел текучести исходного материала для стали 30ХГСА ($R = 0,3$ мм) в 2,9 раза; для стали 45 – в 2,8 раза; для стали 12Х18Н10Т – в 2,4 раза. Наибольшие сжимающие остаточные напряжения в образцах из стали 30ХГСА с $R = 0,3$ мм даже выше сопротивления разрыву S_k на 3%.

Косвенным подтверждением установленной величины остаточных напряжений являются результаты обработки экспериментальных данных по определению предела выносливости при изгибе σ_{-1} образцов с концентраторами напряжений, приведёнными в табл. 2.

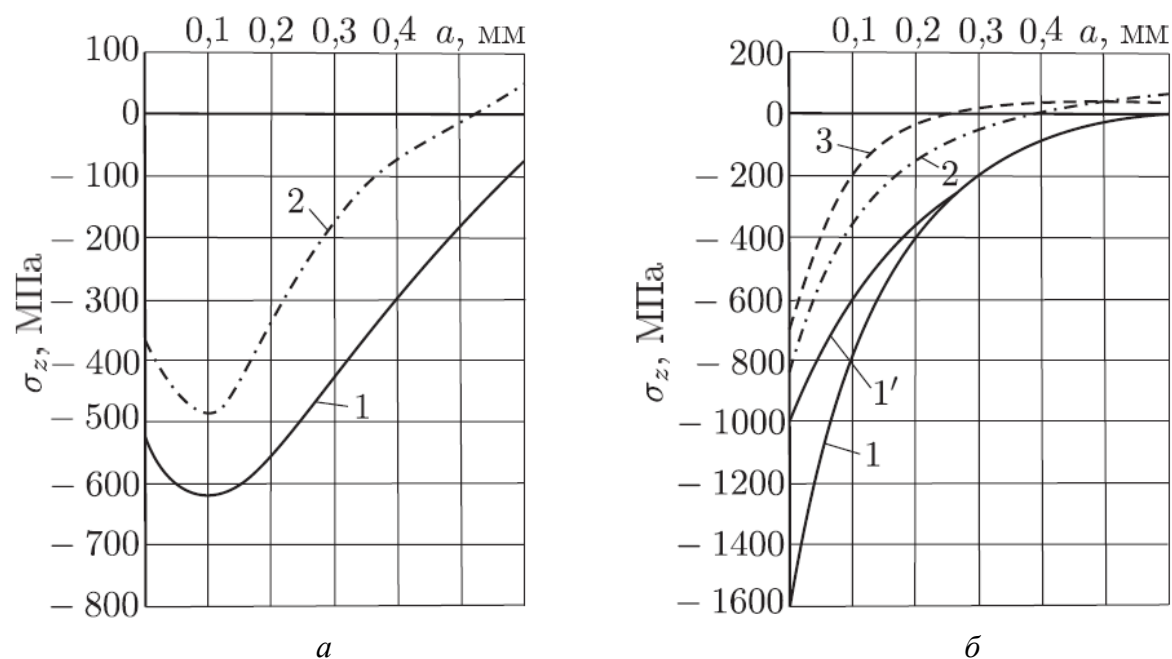


Рис. 2. Остаточные напряжения в гладких образцах (а) и образцах с концентратором (б) из сталей 30ХГСА (1 – $R = 0,3$ мм, 1' – $R = 0,5$ мм), 45 (2 – $R = 0,3$ мм) и 12Х18Н10Т (3 – $R = 0,15$ мм)

Таблица 2

Материал	Концентратор R , мм	Неупрочн. образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы					
			обработка	σ_{-1} , МПа	σ_z , МПа	$t_{кр}$, мм	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
30ХГСА	надрез 0,3	177,5	ОР	360	-1530	0,314	-507	0,360
	надрез 0,5	180	ОР	327,5	-1005	0,300	-422	0,350
сталь 45	надрез 0,3	120	ОР	235	-827	0,197	-325	0,354
12Х18Н10Т	галтель 0,15	150	ОМ	220	-6802	0,220	-180	0,389

Оценка приращения предела выносливости упрочнённых образцов с использованием критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [3] по толщине поверхностного слоя образца, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$, показала, что коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению $\bar{\psi}_\sigma$ составляет в

среднем для проведённых экспериментов 0,363 (табл. 2) и практически совпадает со значением $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$, установленным в [4].

Таким образом, в работе показано, что наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое упрочнённых деталей может достигать значения истинного сопротивления разрыву материала детали и даже превышать его на 15%.

Библиографический список

1. Биргер, И. А. Остаточные напряжения [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
2. Сопротивление материалов деформированию и разрушению: [Текст] / ред. В.Т. Трощенко // Справочное пособие / Киев: Наукова думка. – 1993. – Ч.1. – 288 с.
3. Павлов, В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
4. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.