

С.И.Иванов, В.Ф.Павлов, М.А.Сагитов

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И НАКЛЕПА
НА ВЫНОСЛИВОСТЬ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ

Влияние остаточных напряжений и наклепа на выносливость надрезанных образцов из стали 45 рассматривалось в работах [1-2]. В настоящей статье описаны результаты аналогичных исследований для других материалов.

Опыты проводились на образцах из ЭИ96I, ЭИ437Б, В93, АК8, стали 45. Заготовки из ЭИ96I, ЭИ437Б подвергались термообработке по заводской технологии, заготовки из АК8 и стали 45 подвергались отжигу, заготовки из В93 испытывались в состоянии поставки. Механические характеристики материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кг/мм ²	δ , %	ψ , %
ЭИ96I	109	99	11	67
ЭИ437Б	97	73	13	15
В93	33	22	16	21
АК8	20	17	9	36
Сталь 45	58	30	23	38

Образцы для усталостных испытаний диаметром 10мм изготавливались по ГОСТ 2860-65 и подвергались электрополированию на глубину, необходимую для удаления наклепанного слоя и, следовательно

но, остаточных напряжений. Половина образцов из ЭИ961, ЭИ437Б и В93 подвергалась гидродробеструйной обработке с целью создания сжимающих остаточных напряжений, эпюры которых показаны на рис.1.

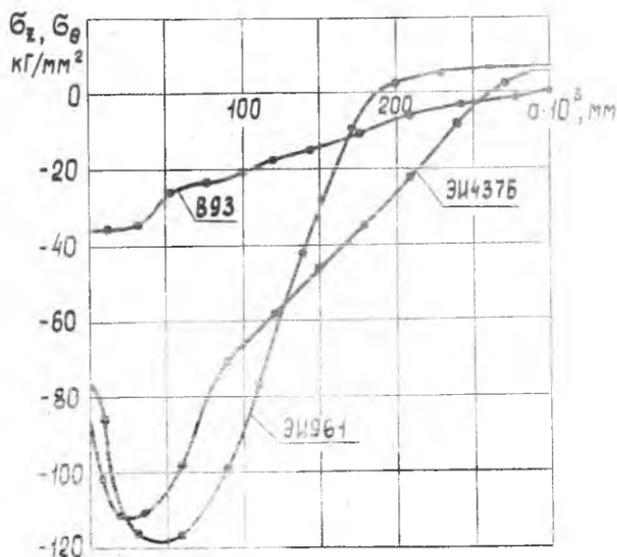


Рис. 1

Режимы обработки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Давление масла, кг/см^2	Экспозиция, мин.	Диаметр шариков, мм
ЭИ961	2,9	8	2
ЭИ437Б	— " —	— " —	— " —
В93	1,9	— " —	— " —

Образцы из стали 45 подвергались электрохимическому никелированию для создания растягивающих остаточных напряжений, показанных на рис. 2. Перед никелированием образцы подвергались ме-
4-751

ханическому полированию, обезжириванию и декапированию. Толщина слоя никеля составляла 0,11 мм. На границе раздела никеля и основного металла в эпюре остаточных напряжений наблюдался скачок. Остаточные напряжения никелированных образцов в окружном и осевом направлениях оказались практически одинаковыми.

Часть образцов из АК8 изготавливалась из заготовок, предварительно деформированных на 2 и 6 %, остальные образцы - из недеформированного материала.

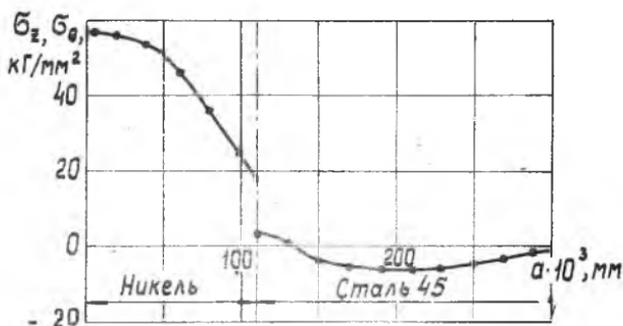


Рис. 2

На все образцы наносились надрезы полукруглого профиля с радиусами 0,3 и 0,5 мм. Вначале применялся фасонный резец, а затем электрополирование для удаления наклепанного после точения слоя.

Дополнительные остаточные напряжения на дне надреза образцов, возникающие за счет перераспределения остаточных усилий гладкого образца, подсчитывались по формуле, полученной в работе [3]:

$$\sigma_{zd}(R,0) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} [1,273 \cos^2 \psi + 0,868 \psi \sin \psi - 0,118 \sin \psi \sin 2\psi] \sigma_z(\psi) d\psi, (I)$$

где $\psi = \alpha \cos \frac{a}{R}$, α - расстояние от цилиндрической поверхности до текущего слоя, R - радиус надреза, $\sigma_z(\psi)$ - осевое остаточное напряжение гладкого образца. Результаты вычислений по формуле (I) с использованием эпюр, изображенных на рис. 1 и 2,

приведены в табл. 3, где через $\sigma_{ост}$ обозначена сумма дополнительных и исходных напряжений.

Усталостные испытания при изгибе проводились на машине МУИ-6000, база испытаний $N = 5 \cdot 10^6$ циклов. Результаты испытаний содержатся в табл. 3. В эту таблицу включены также данные работ [1] и [2] для отожженной стали 45. Влияние остаточных напряжений оценивается коэффициентом ψ , равным отношению приращения предела выносливости $\Delta \sigma_{-1}$ к абсолютному значению соответствующего осевого остаточного напряжения $\sigma_{ост}$ на дне надреза. Эта величина может быть использована в расчетной формуле

$$\sigma_{-1} = \sigma_{-1}^0 - \psi \sigma_{ост}, \quad (2)$$

где σ_{-1} , σ_{-1}^0 - пределы выносливости надрезанного образца с остаточными напряжениями и без них.

Таблица 3

Материал	Уровень остаточных напряжений, %	Неупрочненные образцы		Упрочненные образцы				$\psi = \frac{\Delta \sigma_{-1}}{ \sigma_{ост} }$	
		σ_{-1} , кг/мм ²		$\sigma_{ост}$, кг/мм ²		σ_{-1} , кг/мм ²			
		R=0,3мм	R=0,5мм	R=0,3мм	R=0,5мм	R=0,3мм	R=0,5мм	R=0,3мм	R=0,5мм
ЭИ96I	0	25,5	28,5	-48,5	-19	34	32	0,175	0,184
ЭИ437Б	0	21,5	22	-60,3	-19,4	31,5	25,5	0,166	0,180
В93	0	6,75	7,75	-22,1	-10,3	11	9,5	0,192	0,170
Сталь 45	0	12	12,5	-27,5	-14,5	16,5	15	0,164	0,172
	0	12	12,5	+15,6	+9,7	11	12	0,064	0,052
	2	12	12,5	-21,4	-8,9	16	14	0,187	0,169
	10	12	13	-25,5	-9,2	16,5	14,5	0,176	0,163
АК8	0	5	5	-	-	-	-	-	-
	2	5	5	-	-	-	-	-	-
	6	5,25	5	-	-	-	-	-	-

Полученные результаты свидетельствуют о том, что влияние остаточных сжимающих напряжений на выносливость образцов с надрезом, оцениваемое коэффициентом $\psi = \Delta \sigma_{-1} / |\sigma_{ост}|$ для всех материалов примерно одинаково и не зависит от наклепа. Среднее значение коэффициента $\psi = 0,175$.

Коэффициент ψ для остаточных растягивающих напряжений имеет существенно меньшее значение, что согласуется с мнением автора работы [4] .

Предварительный наклеп растяжением, как показали испытания образцов из стали 45 и АК8, не оказывает влияния на выносливость что можно было предвидеть, так как и в образцах, не подвергавшихся растяжению, образованию трещин предшествует значительный наклеп, возникающий по границам различных дефектов.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость ненаклепанного материала. "Вопросы прикладной механики в авиационной технике". Труды КуАИ, вып.66, 1973.
2. Иванов С.И., Павлов В.Ф. О влиянии остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность образцов из стали 45. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Межвузовский сборник, вып. I, КуАИ, 1974.
3. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Определение дополнительных остаточных напряжений в надрезах на цилиндрических деталях. "Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Труды КуАИ, вып. 60, 1973.
4. Кудрявцев И.В. Остаточные напряжения как резерв прочности в машиностроении. М., Машгиз, 1951.