

Это еще раз подтверждает незначительное упрочнение сплава ИМД-5 в диапазоне малых деформаций.

В то же время этот сплав, обладающий высоким запасом пластичности, технологичен и может быть рекомендован для широкого применения в формообразующих операциях, связанных с большими деформациями.

УДК 539.319

В.И.Егоров, В.Ф.Павлов

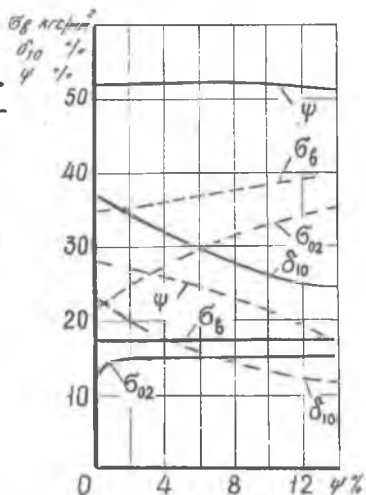
ВЛИЯНИЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ  
НА ВЫНОСЛИВОСТЬ ОБРАЗЦОВ  
С НАДРЕЗОМ ИЗ СТАЛИ ЭИ 96I

Ранее проведенными исследованиями

установлено, что алмазное выглаживание повышает выносливость гладких образцов как при нормальной, так и при повышенных температурах. В настоящей работе рассматривается влияние алмазного выглаживания на усталостную прочность образцов с надрезом из стали ЭИ96I (рис. I).

Испытания при чистом изгибе с вращением и частотой нагружения 50 Гц, согласно ГОСТ 2860-65, проводились на усовершенствованных машинах типа МВП-10000 при температурах 20 и 400°C (база испытаний -  $2 \cdot 10^7$  циклов).

С целью выравнивания температурного поля в воздушном пространстве печи и на поверхности образца при горячих испытаниях образец перед нагружением нагревался до заданной температуры и выдерживался в печи дополнительно в течение одного часа. Результаты усталостных испытаний, подвергнутые статистической обработке с целью определения средних вероятных значений пределов выносливости и долговечности, приведены в таблице.



Р и с.3. Изменение механических свойств материалов в зависимости от степени предварительной деформации: ВМД-5, л.3,0; --- АМг6БМ, л.3,0

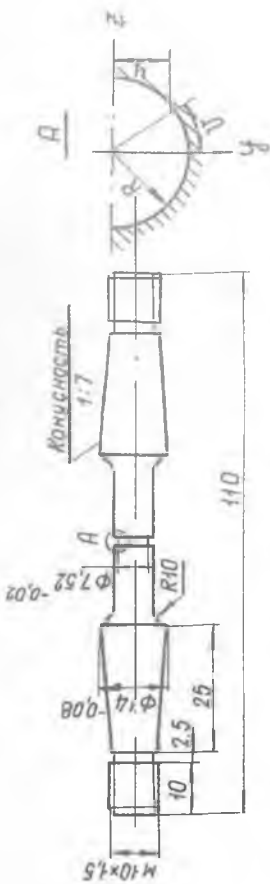
Температура испытаний, град °С	Выглаженные образцы			Шлифованные образцы	
	гладкие $\sigma_{-1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	надрезанные		гладкие $\sigma_{-1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	надрезанные $\sigma_{-1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>
		$\sigma_{ост}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{-1}$ , кгс/мм <sup>2</sup>		
20	56	-67,5	38	45	23
400	38	-47	27	32,5	19

Алмазное выглаживание гладких образцов производилось на следующем режиме:  $P_n = 10$  кгс;  $R_{сф} = 2$  мм;  $l = 1, s = 0,05$  мм/об  $v = 40$  м/мин; СОЖ - масло "индустриальное". Осевые остаточные напряжения в гладких образцах после выглаживания показаны на рис. 2 (кривая 1). На этом же рисунке показаны остаточные напряжения в образцах, выдержанных в печи при температуре  $400^{\circ}\text{C}$  в течение 13 ч (кривая 2).

Полукруглый надрез радиусом  $R = 0,3$  мм наносился фасонным резцом на выглаженную и шлифованную поверхности гладких образцов, дополнительная обработка поверхности надреза не проводилась. В результате нанесения надреза на выглаженную поверхность остаточные напряжения гладкого образца перераспределяются.

Дополнительные напряжения на дне надреза, возникающие за счет перераспределения остаточных напряжений гладкого образца, рассчитывались по формуле [2]:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\nu_2}(R, 0) = & 1,273 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_2(\nu) \cos \nu d\nu + \\
 & + 0,868 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \nu \sigma_2(\nu) \sin \nu d\nu - \\
 & - 0,118 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_2(\nu) \sin \nu \sin 2\nu d\nu,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



Р и с. 1. Образец с надрезом для усталостных испытаний при чистом изгибе

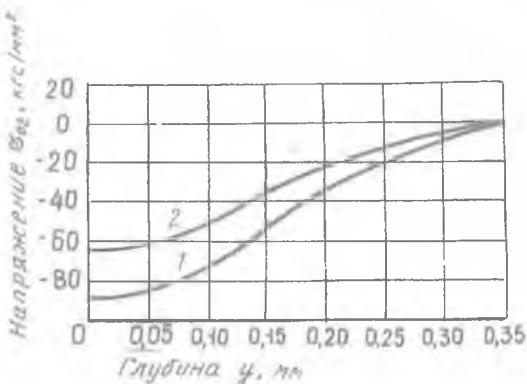
$\sigma_{z_0}(R, 0)$  - дополнительное осевое напряжение на дне надреза;  
 $\sigma_z(r)$  - осевое остаточное напряжение в гладком образце;  
 $R$  - радиус надреза.

При подстановке  $\sigma_z(r)$  в формулу (I) учтено, что угловая координата  $\nu$  связана с глубиной соответствующего слоя гладкого образца  $y$  зависимостью  $y = R \cos \nu$ .

Дополнительные напряжения, вычисленные по формуле (I) с использованием эпюр, изображенных на рис. 2, складывались с исходными остаточными напряжениями. Найденные таким образом полные осевые остаточные напряжения на дне надреза приведены в таблице I.

Можно видеть, что повышение предела выносливости выглаженных надрезанных образцов обусловлено наличием на дне надреза значительных сжимающих напряжений.

Дополнительные остаточные напряжения в наименьшем сечении образца вычислялись по формуле, приведенной в [3]:



Р и с. 2. Распределение осевых остаточных напряжений по глубине в гладком образце из стали ЭИ96I после алмазного выглаживания: I - до нагрева; 2 -  $T = 400^{\circ}\text{C}$ ;  $\sigma = 13 \tau$

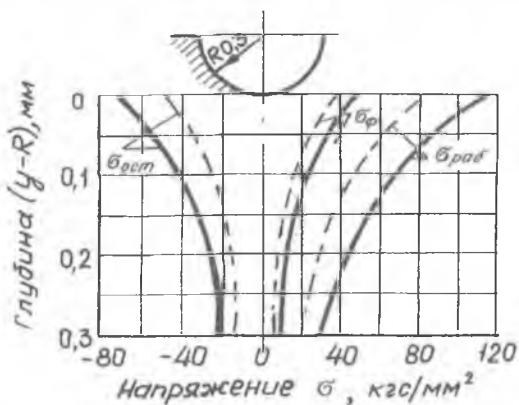
$$\sigma_{z_0} \left( \frac{y}{R} \right) = \sigma_{z_0}(R, 0) \frac{R^2}{y^2}; \quad (2)$$

затем они складывались с напряжениями гладкого образца в соответствующих точках, и строилась эпюра остаточных напряжений  $\sigma_{ост}$  в наименьшем сечении образца (рис. 3).

На этом же рисунке показаны эпюры рабочих напряжений  $\sigma_{раб}$ , действующих при усталостных испытаниях в растянутой части образца при номинальном напряжении, равном пределу выносливости ( $\sigma_{-1} = 38 \text{ кгс/мм}^2$  при  $20^{\circ}\text{C}$  и  $\sigma_{-1} = 27 \text{ кгс/мм}^2$  при  $400^{\circ}\text{C}$ ). Эпюры построены по формуле Г. Нейбера [4].

Кроме остаточных и рабочих напряжений на рис. 3. показана их сумма, т.е. фактические напряжения  $\sigma_{факт}$ , которые имели место при

испытаниях. Наибольшее фактическое напряжение при 20°C составляет 43 кгс/мм<sup>2</sup>, а при 400°C - 34 кгс/мм<sup>2</sup>. Эти напряжения можно считать



Р и с. 3. Эпюры остаточных  $\sigma_{ост}$ , рабочих  $\sigma_{раб}$  и фактических  $\sigma_{фак}$  осевых напряжений в наименьшем сечении образца: —  $T = 200^{\circ}\text{C}$ ; ---  $T = 400^{\circ}\text{C}$

надрезанных образцов (по сравнению со шлифованными) объясняется наличием значительных сжимающих остаточных напряжений на дне надреза, которые, суммируясь с рабочими напряжениями, уменьшают их до величины предела выносливости гладкого шлифованного образца.

### Л и т е р а т у р а

1. Е г о р о в В.И., М и т р я е в К.Ф. Влияние алмазного выглаживания на качество поверхности и выносливость жаропрочных материалов при рабочих температурах. В сб.: "Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов", вып. 2. КуАИ, 1974.

2. И в а н о в С.И., Ш а т у н о в М.Л., П а в л о в В.Ф. Определение дополнительных остаточных напряжений в надresaх на цилиндрических деталях. Труды КуАИ, вып. 60, 1973.

3. П а в л о в В.Ф. Перераспределение остаточных напряжений в цилиндрическом образце после нанесения надреза. Труды КуАИ, вып. 69, 1974.

4. Н е й б е р Г. Концентрация напряжений. М., Гостехиздат, 1947.

пределом выносливости, вычисленным по местным напряжениям, причем он близки к пределу выносливости гладких шлифованных образцов:  $\sigma_{-1} = 45 \text{ кгс/мм}^2$  при 20°C и  $\sigma_{-1} = 32,5 \text{ кгс/мм}^2$  при 400°C.

Совпадение пределов выносливости обусловлено отсутствием концентрации фактических напряжений.

Таким образом, повышение предела выносливости выглаженных