

В.Ф.Павлов, М.А.Сагитов

ОСТАТОЧНЫЕ КАСАТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ  
В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ

После механической обработки в цилиндрической детали возникают остаточные напряжения  $\sigma_r(r)$ ,  $\sigma_\theta(r)$ ,  $\sigma_z(r)$ ,  $\tau_{\theta z}(r)$ . Нормальные напряжения хорошо изучены, известно их влияние на сопротивление усталости. Касательные напряжения, сосредоточенные в тонком поверхностном слое детали, не изучались ввиду отсутствия надёжного способа их определения.

Возможность изучения  $\tau_{\theta z}(r)$  появилась после выхода в свет работ [1, 2], в которых получены два метода определения остаточных касательных напряжений. В настоящей статье для определения напряжений после точения и алмазного выравнивания используется метод, основанный на измерении осевого смещения концов разрезанного кольца. С помощью этого перемещения, измеренного при разрезке и удалении слоёв, касательные напряжения определяются по следующей формуле:

$$\tau_{\theta z}(a) = \frac{2G}{3\pi D^2} \left[ hw(0) - 4(h-a)w(a) + (h-a)^2 \frac{dw(a)}{da} + 2 \int_0^a w(\xi) d\xi \right],$$

где  $G$  - модуль упругости материала при сдвиге;  
 $D$  - средний диаметр кольца;  
 $w(a)$  - осевое смещение концов кольца после разрезки и удаления слоя толщиной  $a$ ;  
 $h$  - толщина кольца.

Исследование остаточных касательных напряжений проведено на втулках из ЭИ437Б и ЭИ961 с размерами:  $l = 75$  мм,  $D_{II} = 51,5$  мм,  $D_8 = 45$  мм. Результаты исследования показали, что знак касательных напряжений, возникающих после алмазного выглаживания, зависит от направлений подачи и вращения детали. При изменении направления подачи или направления вращения детали напряжение меняет знак (рис. 1). Аналогичная закономерность наблюдается и после точения, но при одинаковых с алмазным выглаживанием направлениях подачи и вращения детали касательные напряжения после точения имеют противоположный знак.

На рис. 2 изображены эпюры остаточных касательных напряжений втулки из ЭИ437Б после точения и точения с алмазным выглаживанием. Режимы точения и алмазного выглаживания указаны в таблице I.

Таблица I

Вид обработки	Скорость резания (выглаживания) - $v$ , м/мин	Глубина резания - $t$ , мм	Подача - $S$ , мм/об	Геометрия резца			Радиальное усилие при алм. выглаживании - $R_y$ , кг	Радиус сферы алмазного наконечника - $R$ сф, мм	Число проходов при алмазном выглаживании
				$\gamma$	$\varphi$	$\varphi_1$			
Точение	32	0,5	0,075	$8^\circ$	$45^\circ$	$45^\circ$	-	-	-
Алмазное выглаживание	50	-	0,075	-	-	-	30	2	I
Точение	25	0,25	0,125	$5^\circ$	$45^\circ$	$45^\circ$	-	-	-
Алмазное выглаживание	50	-	0,075	-	-	-	30	2	I

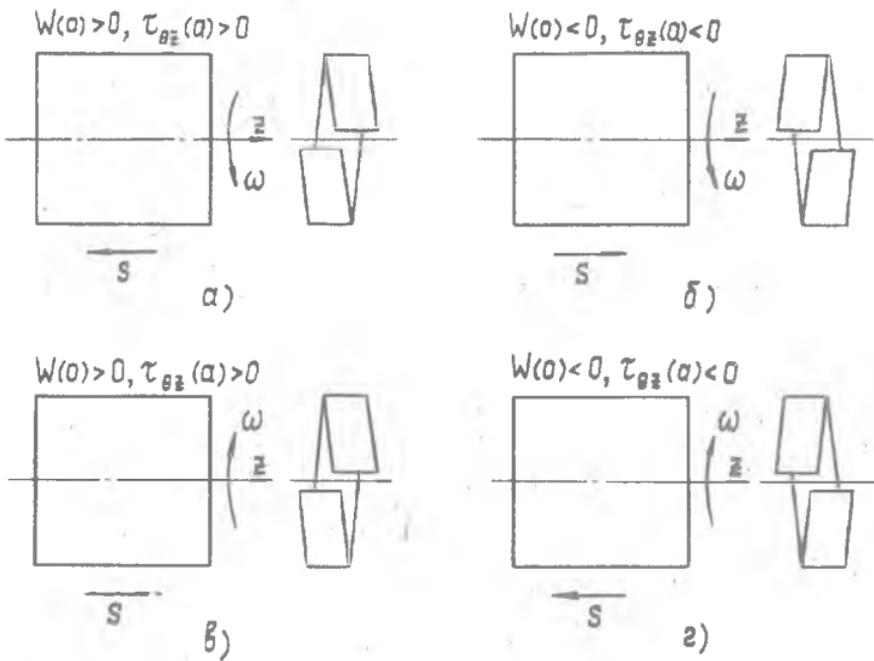


Рис. I

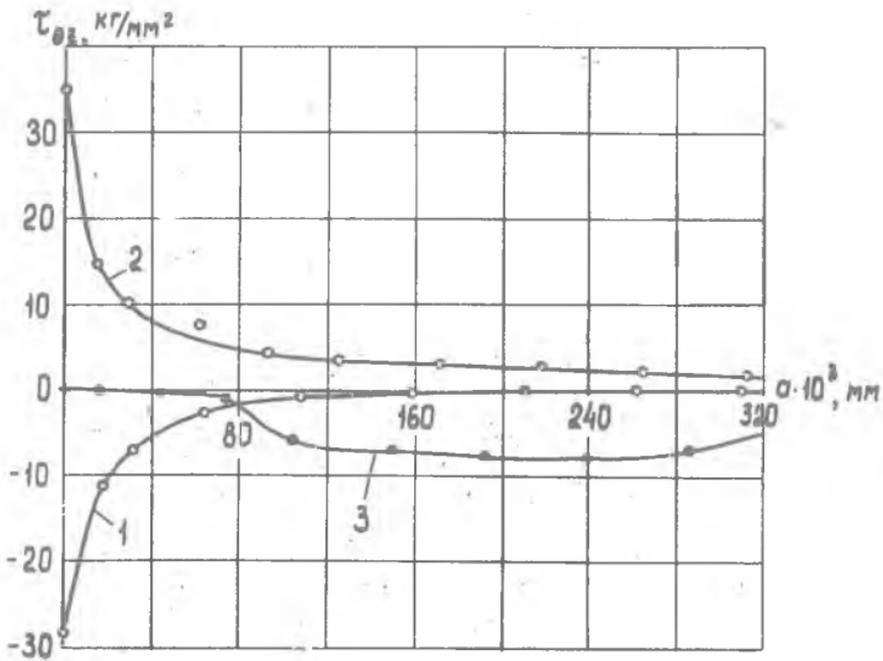


Рис. 2

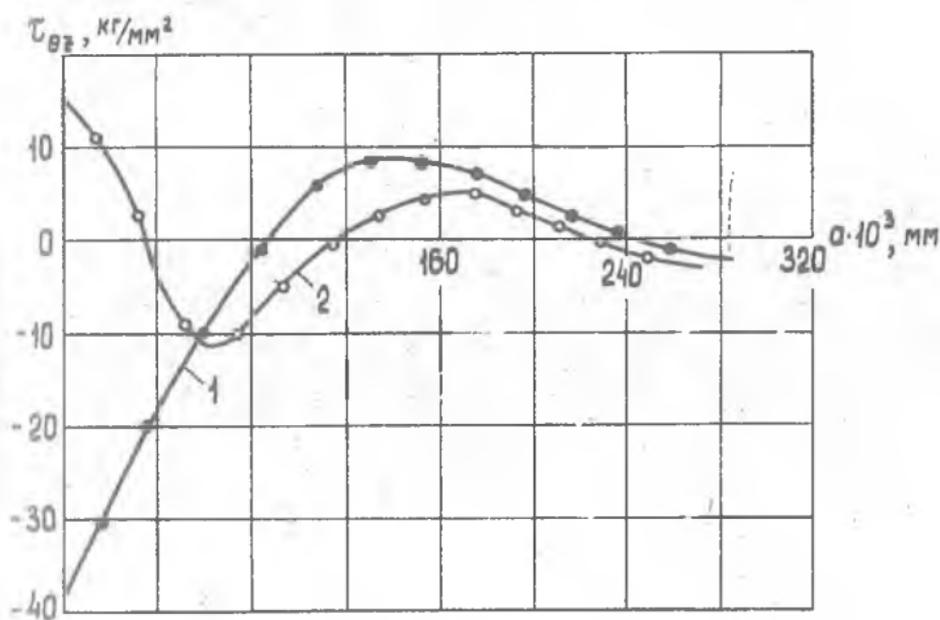


Рис. 3

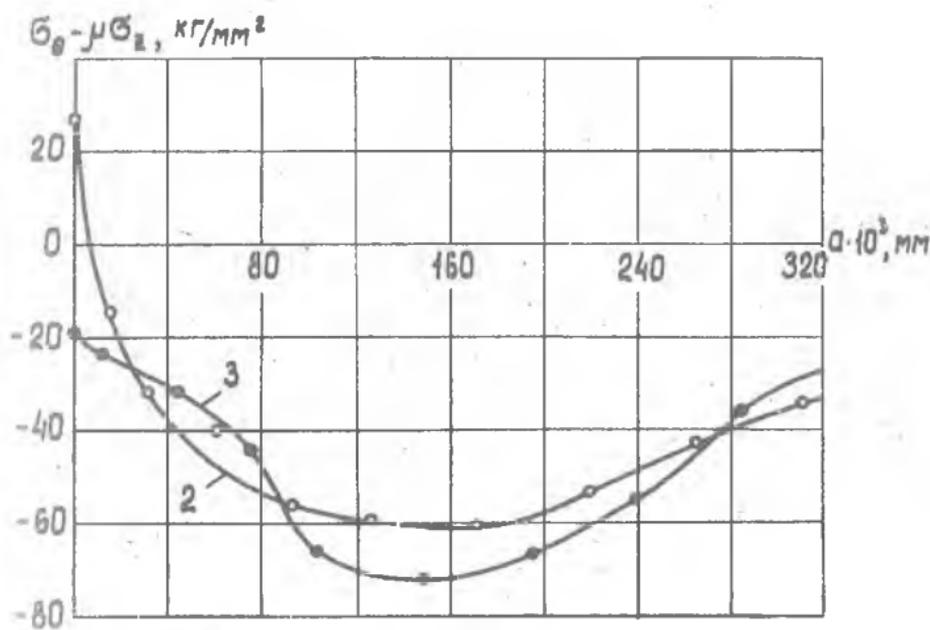


Рис. 4

Эпюра напряжений после точения обозначена цифрой 1. Касательные напряжения достигают  $- 29 \text{ кг/мм}^2$  на поверхности втулки, а на глубине  $a = 0,08 \text{ мм}$  убывают до весьма небольшой величины.

После точения и алмазного выглаживания с совпадающими по направлению подачами получена эпюра 2. Касательные напряжения изменили знак и стали больше по величине. Эпюра напряжений после точения и алмазного выглаживания с противоположными подачами обозначена цифрой 3. Можно видеть, что в этом случае касательные напряжения в поверхностном слое отсутствуют. Между тем, логично было ожидать, что в поверхностном слое эпюра 3 расположится несколько ниже эпюры 1. Наблюдаемый парадокс требует объяснения с позиций теории образования остаточных напряжений.

Заметим, что результаты, изображенные на рис. 2, получены при одинаковых по величине подачах точения и алмазного выглаживания. При разных величинах подач указанные закономерности нарушаются, о чём свидетельствуют результаты исследования втулок из ЭИ961 (рис. 3).

После точения с режимами, указанными в таблице, получена эпюра 1. Последующее алмазное выглаживание с аналогичным направлением подачи, но другим значением ее величины изменило напряжения (эпюра 2), но не так, как при одинаковых величинах подач (см. эпюру 2 на рис. 2).

Таким образом, изменяя направление подачи при алмазном выглаживании, следующем за точением, можно регулировать величину остаточных касательных напряжений детали. В зависимости от необходимости их можно либо устранить, либо сделать достаточно большими с наперед заданным знаком.

При исследовании колец, кроме перемещений  $W(a)$ , измерялись изменения диаметра  $\delta(a)$  и вычислялись нормальные напряжения, эпюры которых показаны на рис. 4. Обозначение эпюр принято аналогичным рис. 2. Можно видеть существенную разницу остаточных напряжений после обработки с совпадающими и несовпадающими по направлению подачами точения и алмазного выглаживания. Следовательно, имеется возможность регулировать не только касательные, но и нормальные напряжения.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов С.И. Исследование остаточных касательных напряжений в цилиндрической детали методом колец. Труды КуАИ, вып. 53, 1971.
2. Иванов С.И. Определение остаточных касательных напряжений в цилиндре по результатам исследования полоски. Труды КуАИ, вып. 53, 1971.