

М. В. КАСЬЯН, Э. О. ХУРШУДЯН

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ РЕЗАНИЯ

После обработки резанием металл в поверхностном слое приобретает новые физико-механические свойства, сильно отличающиеся от свойств основного металла. Одним из них являются и ОН (остаточные напряжения), которые после токарной обработки имеют свои особенности, обусловленные самим процессом обработки и заключающиеся в следующем:

1) величины всех компонент ОН не меняются по окружному направлению (из условия постоянства процесса резания при каждом обороте втулки при точении);

2) величины всех компонент ОН меняются по радиальному направлению втулки (из-за локального характера пластической деформации поверхностной зоны);

3) величины всех компонент ОН не меняются по осевому направлению, за исключением краев втулки, где имеет место краевой эффект (из условия постоянства процесса резания при обработке втулки по всей длине);

4) величина радиального компонента пренебрежимо мала и ее можно не учитывать (для тонкостенных втулок).

Разумеется, что ОН всегда имеет упругий характер.

После токарной обработки поверхность втулки из-за локальной пластической деформации, приобретает объемное напряженное состояние, вызывающее соответствующие деформации и напряжения по всему телу втулки.

Уравнения равновесия детали, находящейся в объемном напряженном состоянии, в общем случае, выраженное цилиндрическими координатами (рис. 1), имеют следующий вид (если пренебречь объемными силами, которые распределяются по объему детали непрерывно и одинаково).

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0;$$

$$\frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} = 0;$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} = 0.$$

В литературе часто состояние поверхностного слоя после обработки резанием принимается как плоское, при определении которого компоненты напряжения σ_r , $\tau_{r\theta}$, τ_{rz} должны быть равными нулю, а компоненты σ_θ , σ_z , $\tau_{\theta z}$ не зависят от координаты r (например, в [1]), что противоречит условию распределения ОН по глубине. Плоское напряженное состояние можно отнести к отдельным слоям поверхностей зоны, применяя усредненные значения компонентов ОН по ее толщине. Для тонкостенной втулки напряженное состояние считать осесимметричным (что допускаются при применении метода Закса для определения ОН) тоже нельзя из-за наличия касательных компонент.

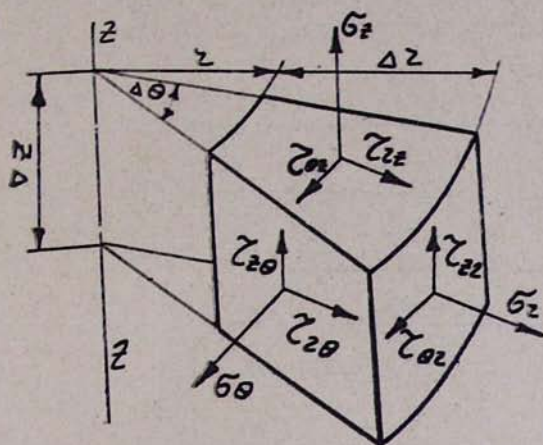


Рис. 1.

Если в отдельных слоях поверхностной зоны принять напряженное состояние плоским, то в каждом слое $\sigma_r = 0$, $\tau_{r\theta} = 0$, $\tau_{rz} = 0$, и уравнение равновесия элемента на поверхности в прямоугольных координатах будет [2]:

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\sigma}_y}{\partial y} = 0,$$

здесь черточкой показаны средние значения. Эти уравнения будут удовлетворены, если

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \bar{\sigma}_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \bar{\tau}_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y},$$

где φ — произвольная функция от x и y , и должна удовлетворять дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0.$$

Таким образом, определение ОН на поверхностных слоях тонкостенной втулки после токарной обработки сводится к определению их компонент σ_x ; σ_y ; τ_{xy} или по цилиндрическим координатам σ_θ ; σ_z ; $\tau_{\theta z}$. Кстати, о последнем подробно дается и в работе [3].

С целью выявления влияния отдельных компонент ОН на характер деформации тонкостенной втулки после ее точения нами были проведены эксперименты, заключающиеся в следующем: на поверхности 12 втулок из материала У8А (отожженная), размеры которых показаны на рис. 2, были отмечены базовые точки A_1 и A_2 с целью выявления компонент ОН σ_z и $\tau_{\theta z}$, а на торце точки B_1 и B_2 с целью выявления компоненты σ_θ . Предварительно измерялись расстояния между ними, а также их отклонения от оси втулки. После измерения втулки обточены

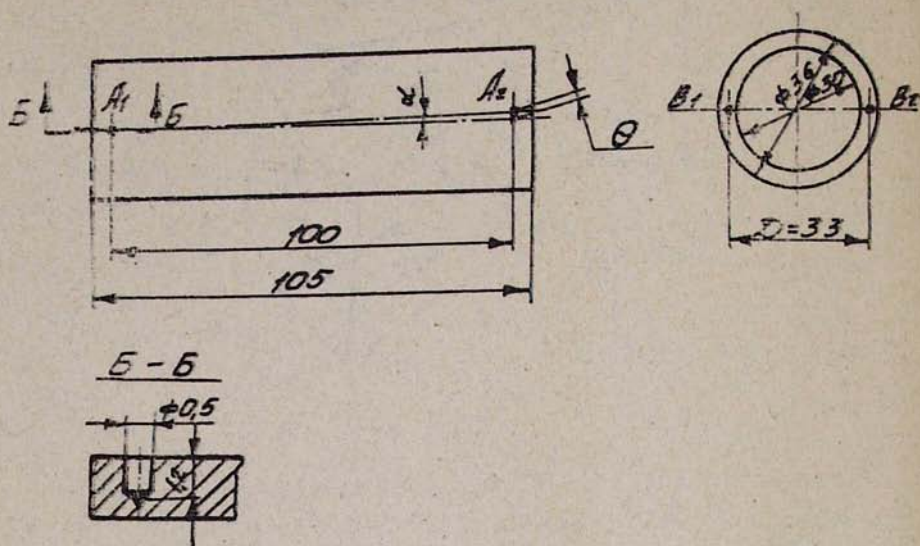


Рис. 2.

режимами резания $V = 12,3; 75,2; 120; 191 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$; $S = 0,07 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$; $t = 1 \text{ мм}$, резцом с пластиной марки Т15К6, с параметрами $\gamma = 0$, $\alpha = 7^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$, $\rho = 0,03 \text{ мм}$, причем по 3 втулки в каждом режиме. Так как глубина отметок больше глубины резания, то процесс резания их не повредил.

После обточки определены изменения расстояний ΔL и отклонения $\Delta \alpha$. Угловое отклонение определено по выражению $\Delta \text{tg} \alpha = \frac{\Delta \theta}{L}$.

Потом втулки разрезаны по образующей и определены изменения диаметра ΔD .

Результаты измерений приведены в таблице, где даются их средние значения.

$V \frac{м}{мин}$	$\Delta L_{мм}$	$\Delta D_{мм}$	$\Delta \phi^\circ$	$\Delta \operatorname{tg} \alpha$	$\Delta \alpha^\circ$
12	-0,01	0,01	-0,15	-0,00143	-0,08
75,2	0	0	-0,11	-0,00105	-0,05
120	-0,01	0,01	-0,1	-0,00095	-0,04
191	-0,018	0,015	0,005	-0,00005	0,005

Как видно из таблицы, после обточки в зависимости от скорости резания менялась длина втулки, что указывает о наличии компоненты σ_z , происходил поворот его торцов от $\tau_{\theta z}$ и после разрезки—изменение диаметра от σ_θ . Следует отметить, что данный эксперимент имеет только качественный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. М. Качанов. Теория пластичности. М., 1963.
2. С. П. Тимошенко. Курс теории упругости. Киев, 1972.
3. С. И. Иванов. Определение остаточных напряжений в цилиндре. Труды КуАИ, вып. 39, 1968.