

КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.С.Силин, В.Ф.Безъязычный

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ

Наряду с экспериментальными методами исследования качества поверхностного слоя в настоящее время большое внимание уделяется теоретическим исследованиям по определению параметров качества поверхностного слоя (остаточных напряжений, степени наклепа, чистоты обработанной поверхности). Глубокие теоретические исследования по этому вопросу приведены в ряде работ [1,2,3].

На наш взгляд серьезное упрощение расчетов параметров качества поверхностного слоя и в то же время более комплексное изучение их позволит применять для этой цели методы теории подобия, и в частности, использовать критерии подобия процессов резания. В этом случае могут быть получены теоретико-экспериментальные зависимости весьма общего характера.

Используя метод расчленения тела для определения остаточных напряжений, предложенный Абрамовым В.В. [3], авторами получены формулы для определения напряжений, возникающих в поверхностном слое при точении, при нагревании и охлаждении [4]. На основании этих исследований получена формула для определения температурных остаточных напряжений в поверхностном слое при точении в следующем виде:

$$\sigma_{\text{ост}}^{\text{тем}} = C(\text{БВ})^m \theta_A \beta \epsilon \rho^k \cos^p \alpha a_1^{n-k} \left[\frac{1}{(z_H - z + a_1)^n} + \frac{-2(z_H - z_{OH} + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_{OO} + z_{OH}) + 2(z_H - z_B + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_B + z_B)}{(z_{OH}^2 - z_B^2)(1-n)(2-n)} + \frac{4(z_H - z_{OO} + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_{OO} + z_{OO}) - 4(z_H - z_B + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_B + z_B)}{(z_{OO}^2 - z_B^2)(1-n)(2-n)} \right] + \sigma_T \left(\frac{z_H^2 - z_{OH}^2}{z_{OH}^2 - z_B^2} - 2 \frac{z_H^2 - z_{OO}^2}{z_{OO}^2 - z_B^2} \right) \frac{kz}{\text{мм}^2}, \quad (I)$$

где $B = \frac{\sqrt{a_1}}{a}$ - критерий подобия резания, характеризующий степень влияния режимных условий процесса резания ($\sqrt{a_1}$) по сравнению с влиянием теплофизических свойств обрабатываемого материала (a);

V - скорость резания, м/сек;

a_1 - толщина среза, м;

a - коэффициент температуропроводности, м²/сек;

$B = t_{\theta} \beta_1$ - критерий подобия резания, отражающий влияние степени пластических деформаций металла снимаемого припуска;

β_1 - угол наклона плоскости сдвига металла;

θ_A - максимальная температура пластических деформаций в плоскости сдвига, °С, которая определяется по формуле

$$\theta_A = \frac{\tau_p}{c_p B} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{6B}{4}} \quad ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где τ_p - сопротивление пластическому сдвигу обрабатываемого материала, н/м²;

c_p - удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала, дж/м³ °С;

β - коэффициент относительного линейного температурного расширения, 1/°С;

E - модуль упругости обрабатываемого материала, кгс/мм²;

ρ - радиус скругления режущей кромки резца, мм;

α - задний угол резца, град;

σ_T - предел текучести обрабатываемого материала, кгс/мм²;

ζ_H и ζ_B - наружный и внутренний радиусы обрабатываемой детали, м;

ζ_{on} и ζ_{oo} - радиусы при нагревании и охлаждении, на которых расположены слои металла, где упругие и пластические деформации равны, м; методика определения значений ζ_{on} и ζ_{oo} приведена в работе [4];

s, m, n, k и r - коэффициенты, зависящие от B и ψ/a_1 ,

где ψ/a_1 - отношение глубины рассматриваемого слоя от обрабатываемой поверхности к толщине среза, причем, на обработанной поверхности $\psi/a_1 = 1$.

Значения коэффициентов приведены в табл. I.

Таблица I

Диапазоны БВ и γ/a_1	Значения коэффициентов				
	с	т	п	к	р
$БВ \leq 4$	0,83	0,1	$(БВ)^{0,5}$	0,06(БВ) ^{0,5}	0,05(БВ) ^{0,5}
$4 \leq БВ \leq 8$	0,69	0,2	$1,6(БВ)^{0,2}$		
$8 \leq БВ \leq 13$ $1 \leq \gamma/a_1 \leq 1,3$	0,60	0,22	$(БВ)^{0,42}$		
$13 \leq БВ \leq 25$ $1 \leq \gamma/a_1 \leq 1,3$	0,71	0,27	$(БВ)^{0,47}$		
$8 \leq БВ \leq 13$ $\gamma/a_1 \geq 1,3$	0,57	-0,14	$(БВ)^{0,1}$		
$13 \leq БВ \leq 25$ $\gamma/a_1 \geq 1,3$	0,77	-0,14	$(БВ)^{0,1}$		

Формула (I) применима для определения остаточных напряжений в поверхностном слое при точении как полых цилиндрических валов, так и валов без центрального отверстия. При обработке сплошного вала в формулу (I) значение z_0 следует принимать равным нулю. Следовательно, выражения в квадратных и круглых скобках, входящие в формулу (I), являются общими для всех случаев при определении остаточных напряжений в поверхностном слое при точении и могут служить критериями для определения величин остаточных напряжений. При этом следует иметь в виду, что если напряжения в поверхностном слое при охлаждении являются только упругими, то в формуле (I) выражения

$$2(z_H - z_{00} + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_{00} + z_{00}) \text{ и } 2 \frac{z_H^2 - z_{00}^2}{z_{00}^2 - z_H^2} \text{ равны нулю.}$$

Обобщенным критерием качества поверхностного слоя может быть отношение величины остаточных напряжений в рассматриваемом слое к значению предела текучести обрабатываемого материала σ_T , так

как для абсолютного большинства случаев обрабатываемых деталей превышение предела текучести материала детали является нежелательным.

Введем следующие условные обозначения:

$\sigma'_{\text{темп}} = \frac{\sigma_{\text{ост. темп}}}{\sigma_T}$ - критерий качества поверхностного слоя, характеризующий отношение создаваемых напряжений при обработке и механических свойств обрабатываемого материала;

$\Phi = \gamma/a_1$ - критерий качества поверхностного слоя, отражающий влияние соотношения глубины рассматриваемого слоя и режимных условий обработки (a_1);

$T = \frac{\theta_A \beta E}{\sigma_T}$ - критерий качества поверхностного слоя, характеризующий отношение относительного температурного линейного расширения на поверхности ($\theta_A \beta$) и максимального относительного линейного удлинения обрабатываемого материала при условии соблюдения закона Гука ($\frac{\sigma_T}{E}$) (приближенно).

$$H = \rho^k \cos^p \alpha \frac{a_1^{n-k+1}}{\gamma} \left[\frac{-2(z_H - z_{OH} + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_{OH} + z_{OH}) + 2(z_H - z_B + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_B + z_B)}{(z_{OH}^2 - z_B^2)(1-n)(2-n)} + \frac{4(z_H - z_{OO} + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_{OO} + z_{OO}) - 4(z_H - z_B + a_1)^{1-n} (z_H + a_1 - n z_B + z_B)}{(z_{OO}^2 - z_B^2)(1-n)(2-n)} \right] - \text{безразмерный комплекс;}$$

$$\Pi = \rho^k \cos^p \alpha \frac{a_1^{n-k-1}}{\gamma} \frac{1}{(z_H - z + a_1)^n} - \text{безразмерный комплекс;}$$

$$K = \left(\frac{z_H^2 - z_{OH}^2}{z_{OH}^2 - z_B^2} - 2 \frac{z_H^2 - z_{OO}^2}{z_{OO}^2 - z_B^2} \right) - \text{безразмерный комплекс.}$$

С учетом принятых обозначений из формулы (I) получим

$$\sigma'_{\text{темп}} = c (\beta \nu)^m T \Phi (H + \Pi) + K \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой формулу для определения температурных остаточных напряжений в поверхностном слое при тчении, записанную в критериальной форме.

При определении остаточных напряжений в поверхностном слое при тчении конкретной детали (известны подача и глубина резания) рез-

цом с известными геометрическими параметрами (α и ρ), когда величины β , E , α_1 , γ_n , γ_b , σ_T , B , $\cos \alpha$ и ρ являются постоянными, а θ_A , N , Π и K являются функциями критериев B и Φ ,

$$\sigma'_{\text{темпл}} = f(B; \Phi) \quad (4)$$

Для того, чтобы выявить вид функциональной зависимости $\sigma'_{\text{темпл}}$ от B и Φ , по формуле (1) были вычислены значения температурных остаточных напряжений при точении сплава ЭИ961Ш резцами из ВК6М при различных значениях B и Φ (рис.1). По результатам расчетов в

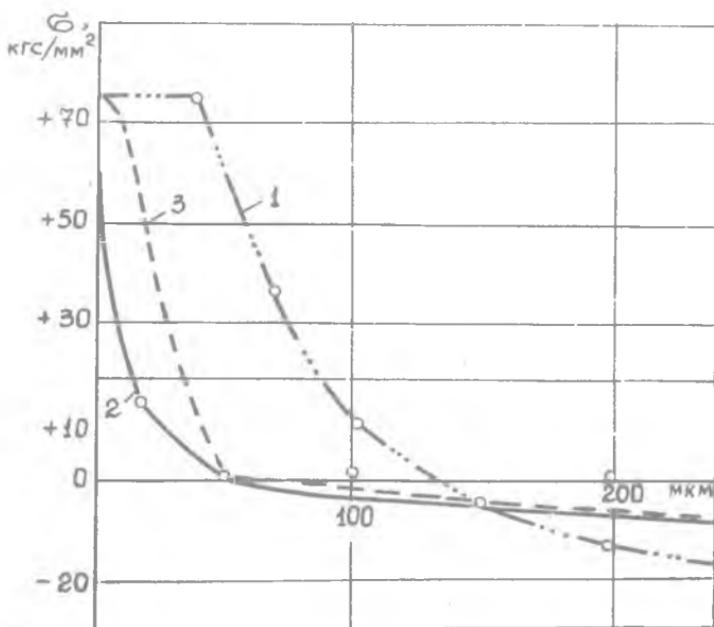


Рис.1. Расчетные температурные остаточные напряжения при точении стали ЭИ961Ш резцами из ВК6М:
 1 - $V = 0,119 \frac{м}{сек}$; $S = 0,23 \frac{мм}{об}$; 2 - $V = 1,492 \frac{м}{сек}$; $S = 0,23 \frac{мм}{об}$; 3 - $V = 0,94 \frac{м}{сек}$; $S = 0,23 \frac{мм}{об}$.

двойной логарифмической сетке были построены графики зависимости критерия $\sigma'_{\text{темпл}}$ от критерия Φ (рис. 2) и критерия B (рис.3).



Рис. 2. Критериальная зависимость $\sigma'_{\text{темпл}}$ от Φ :
 1- $V = 0,119$ м/сек; 2- $V = 0,94$ м/сек;
 3- $V = 1,492$ м/сек

остаточных напряжений от различных технологических факторов необходимо результаты опытов обрабатывать до получения численных значений критериев σ' , B и Φ и далее с помощью 2-й логарифмической сетки получать степенную зависимость вида (5) между этими безразмерными критериями подобия.

На основе анализа зависимостей, представленных на рис.2 и 3, получим

$$\sigma'_{\text{темпл}} = \frac{C}{B^{m_0} \Phi^{n_0}} \quad (5)$$

где C , m_0 и n_0 - коэффициенты, зависящие от обрабатываемого и инструментального материала; для ЭИ961Ш - ВКМ $C = 600$; $m_0 = 1,8$; $n_0 = 11$.

Значения $\sigma'_{\text{темпл}}$ вычисленные по формуле (5), (на рис. 2 и 3 светлые точки) близки к значениям, вычисленным по формуле (1) (на рис. 2 и 3 черные точки).

Из формулы (5) может быть получена упрощенная теоретическая формула для определения температурных остаточных напряжений при тчении

$$\sigma'_{\text{ост.темпл}} = \frac{C \sigma_T}{\left(\frac{V a_1}{a}\right)^{m_0} \left(\frac{y}{a_1}\right)^{n_0}} \text{ кг/мм}^2. \quad (6)$$

Авторами получено экспериментальное подтверждение формулы (1) [4], поэтому и формула (6), полученная из нее, безусловно найдет экспериментальное подтверждение.

Формула (6) показывает, что для получения обобщенных теоретико-экспериментальных зависимостей

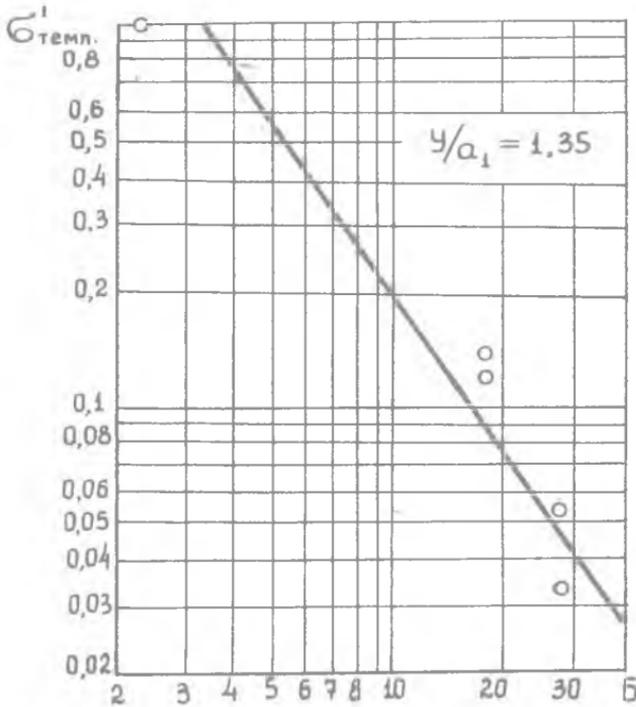


Рис.3. Критерияльная зависимость $\sigma'_{\text{темпл}}$ от B

Л и т е р а т у р а

1. Технологические остаточные напряжения. Под редакцией д.т.н. проф. А.В.Подзея. М., "Машиностроение", 1973.
2. К р а в ч е н к о Б.А. и др. Повышение выносливости и надежности деталей машин и механизмов. Куйбышевское книжное издательство, 1966.
3. А б р а м о в В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах, М., Машгиз, 1963.
4. С и д и н С.С., Б е з ъ я з ы ч н ы й В.Ф. Исследование влияния режимов резания на качество поверхностного слоя при резании. Сб. "Обработка резанием новых конструкционных и неметаллических материалов", 1973.
5. С и л и н С.С. Исследование термомеханических явлений при резании материалов методами теории подобия. Диссертация, Мосстанкин, 1970.