

УДК 621.941.1:621.015

В.Ф.Безъязычный

РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА  
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Возрастающие требования к качеству изделий, работающих в сложных эксплуатационных условиях (повышенные температуры, высокие удельные давления, циклически изменяющиеся нагрузки) обуславливают необходимость сознательного управления ходом технологического процесса механической обработки деталей с целью получения требуемых характеристик качества поверхностного слоя. При этом под качеством поверхностного слоя понимают не только шероховатость поверхности, но и физико-механические параметры: остаточные напряжения, степень и глубину наклепа и др.

При обработке жаропрочных сталей и сплавов, а также других труднообрабатываемых материалов, экономически целесообразна обработка на оптимальных режимах резания, соответствующих оптимальной температуре резания [1], работа при которой обеспечивает наименьший износ инструмента.

Целесообразность назначения оптимальных режимов резания обусловлена также тем, что они обеспечивают при определенных условиях благоприятные показатели качества поверхностного слоя: минимальное или минимально-стабилизированное значение высоты неровностей обработанной поверхности, минимальную глубину и степень наклепа, максимальную стабильность характеристик качества поверхностного слоя.

Однако различные оптимальные сочетания скорости резания, подачи и других параметров процесса резания обеспечивают различные характеристики качества поверхностного слоя. Поэтому необходимо подбирать такие сочетания режимов резания, которые обеспечат заданные

характеристики качества поверхностного слоя. На наш взгляд, это возможно с использованием предлагаемых расчетных зависимостей.

При оптимальном значении скорости резания (при условии, что не происходит упрочнение обрабатываемого материала) для жаропрочных сталей расчетным путем могут быть определены остаточные напряжения в поверхностном слое  $\sigma_{ост}$  при торцевом точении дисков:

$$\begin{aligned} \sigma_{ост} = & 0,335 \alpha_1 \theta_{пл} E \left\{ \exp \left[ -R 1,25^p 0,89^k \gamma \left( \frac{v_0}{a} \right)^m a^{m-k-p-1} \right. \right. \\ & \times \left. \left. \left( \frac{\tau_p}{0,215 \text{ ср } \theta_{пл}} \right)^{m+1,5p+0,5k} \left( \frac{\rho_1}{\sqrt{\sin \alpha}} \right)^{k+p} \left( \frac{1}{\tau_p} \sqrt{\tau_p^2 + (0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^2} - 1 \right)^{n-k-1} \right] + \right. \\ & + \frac{a^m \alpha_1^{1+k+p-m} \left( \frac{1}{\tau_p} \sqrt{\tau_p^2 + (0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^2} - 1 \right)^{1+k-p}}{1,25^p 0,89^k R H v_0^m} \left( \frac{\sqrt{\sin \alpha}}{\rho_1} \right)^{k+p} \times \\ & \times \left( \frac{\tau_p}{0,215 \text{ ср } \theta_{пл}} \right)^{m+1,5p+0,5k} \left\{ 1 - \exp \left[ -R 1,25^p 0,89^k H \left( \frac{v_0}{a} \right)^m \left( \frac{\rho_1}{\sqrt{\sin \alpha}} \right)^{k+p} a_1^{m-k-p-1} \right. \right. \\ & \times \left. \left. \left( \frac{\tau_p}{0,215 \text{ ср } \theta_{пл}} \right)^{m+1,5p+0,5k} \left( \frac{1}{\tau_p} \sqrt{\tau_p^2 + (0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^2} - 1 \right)^{n-k-1} \right] \right\} - \sigma_r + \\ & + 0,5 \tau_p^{0,5} \frac{\tau_p + 0,215 \text{ ср } \theta_{пл}}{(0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^{0,325} \cdot \left( \sqrt{\tau_p^2 + (0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^2} - \tau_p \right)^{0,17}} \times \\ & \times \left[ \exp \left( -0,3 \frac{\gamma}{\alpha_1 \left( \frac{1}{\tau_p} \sqrt{\tau_p^2 + (0,215 \text{ ср } \theta_{пл})^2} - 1 \right)} \right) - \exp(-0,3) \right] - 1,404 \times \\ & \times \tau_p \left( \frac{\tau_p}{0,215 \text{ ср } \theta_{пл}} \right)^{6,85} \exp \left( -\frac{6,18 \gamma}{\rho_1} \sqrt{\frac{0,215 \text{ ср } \theta_{пл} \sin \alpha}{\tau_p}} \right), \frac{H}{\text{мм}^2} \quad (1) \end{aligned}$$

При этом приняты следующие условные обозначения:

$\alpha_1$  - коэффициент температурного линейного расширения обрабатываемого материала, 1/градус;

$E$  - модуль упругости обрабатываемого материала, Н/мм<sup>2</sup>;

- $\sigma_T$  - предел текучести обрабатываемого материала,  $\text{H}/\text{м}^2$ ;  
 $v_o$  - оптимальная скорость резания,  $\text{м}/\text{с}$ ;  
 $a_1$  - толщина среза,  $\text{м}$ ;  
 $t$  - глубина резания,  $\text{м}$ ;  
 $У$  - глубина залегания рассматриваемого слоя от поверхности,  $\text{м}$ ;  
 $H$  - толщина обрабатываемого диска,  $\text{м}$ ;  
 $\alpha$  - коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $\tau_p$  - сопротивление обрабатываемого материала пластическому сдвигу,  $\text{H}/\text{м}^2$ ;  
 $c_p$  - удельная объемная теплоемкость обрабатываемого материала,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  
 $\theta_{пл}$  - температура плавления обрабатываемого материала,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $\rho_1$  - радиус округления режущей кромки резца,  $\text{м}$ ;  
 $\beta$  - периметр рабочих частей режущих кромок,  $\text{м}$ ;  
 $\alpha$  и  $\gamma$  - задний угол и главный угол в плане резца, градус;  
 $R, p, k, m, n$  - коэффициенты, зависящие от скорости резания и свойств обрабатываемого материала. Значения их приведены в работе [2].

Формула (1) устанавливает взаимосвязь остаточных напряжений в поверхностном слое и основных характеристик процесса резания: режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрии инструмента, размеров детали.

Исходя из положения, что глубина наклепа в поверхностном слое равна глубине залегания пластических деформаций, получена зависимость для определения глубины наклепа при точении:

$$h_c = \frac{0,205 S \sin 2\gamma}{R \bar{B}^{-m} B^{1,45-m-p} 0,89^n 1,25^{-p} \left( \frac{\rho_1}{a_1} \frac{B^{0,55}}{\sin^{0,55} \alpha \sin^{0,04} \gamma} \right)^{n-p}} \times$$

$$\times \ln \frac{1,65 a_1 \theta_{пл} E \left[ R \bar{B}^{-m} B^{-m-p} 0,89^n 1,25^{-p} \left( \frac{\rho_1}{a_1} \frac{B^{0,55}}{\sin^{0,55} \alpha \sin^{0,04} \gamma} \right)^{n-p} + \left( \frac{0,205 S \sin 2\gamma}{HB^{1,45}} \right)^2 \right]}{\sigma_T R \bar{B}^{-m} B^{-m-p} 0,89^n 1,25^{-p} \left( \frac{\rho_1}{a_1} \frac{B^{0,55}}{\sin^{0,55} \alpha \sin^{0,04} \gamma} \right)^{n-p}}, \text{ м} \quad (2)$$

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

$B$  - критерий подобия процесса резания, отражающий влияние степени пластических деформаций металла снимаемого припуска, который для условий оптимального резания:

$$B = \frac{\tau_p}{0,215 \sigma_p \theta_{пл}} ;$$

$\gamma$  - передний угол реза, градус.

Для расчетного определения средней высоты неровностей обработанных поверхностей предлагается следующая зависимость:

$$R_z = \left[ \frac{0,6625 a_1^{0,125} \sigma_p \theta_0 \left[ 4,3 \sin^{0,115} \alpha v_0^{0,57} a_1^{0,346} \lambda \left( \frac{t}{m} \right)^{0,3} + \lambda_p \epsilon \rho \alpha^{0,67} \rho^{0,075} \right]^{1-\pi_0}}{\tau_p \bar{\alpha}^{0,43} \sin^{0,025} \alpha v_0 \lambda t^{0,26} m^{0,49-\pi_0} C_0 B^{0,04} \rho^{\pi_0-0,1} (1-0,45 \sin \gamma)} \right]^{\frac{2}{8\tau}} ; \quad (3)$$

где  $\lambda$  и  $\lambda_p$  - коэффициенты теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов, Дл/м·с·град;

$\beta$  и  $\epsilon$  - угол заострения и угол в плане при вершине реза, радиан;

$C_0$  и  $\pi_0$  - коэффициенты, зависящие от соотношения радиуса округления режущей кромки и толщины среза [3];

$m$  - безразмерный коэффициент, определяемый в соответствии с рекомендациями в работе [4].

Формула (3) справедлива для условий оптимального резания в случае, когда резание происходит только радиусной частью режущей кромки. Таким образом, используя формулы (1) - (3) можно расчетом определить характеристики качества поверхностного слоя обработанной поверхности с учетом параметров, характеризующих процесс обработки. Предложенные зависимости можно также использовать для управления процессом с целью обеспечения требуемого качества поверхностного слоя.

## Л и т е р а т у р а

1. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. - М.: Машиз, 1976, 278 с.
2. Силин С.С., Безъязычный В.Ф., Шарова Т.В. Аналитический метод определения температурных остаточных напряжений в поверхностном слое деталей при точении. Сборник научных трудов № 4. Ярославский политехнический институт, Рыбинский авиационный технологический институт, -Ярославль, 1976, с. 120-141.
3. Силин С.С. Применение метода подобия для определения обрабатываемости резанием современных материалов. Сб. научных трудов № 3. Ярославский политехнический институт (головной), Рыбинский авиационный технологический институт, -Ярославль, 1975, с. 5-33.
4. Силин С.С. Расчет оптимальных режимов резания на основе изучения процессов резания методами теории подобия. Сб. трудов № I Рыбинского авиационного технологического института, -Рыбинск. 1966, с. 55-86.

УДК 621.91.01

В.М.Зайцев

### ВЛИЯНИЕ СМАЗКИ-ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ.

Обработка металлов резанием всегда сопровождается возникновением в приповерхностном слое детали остаточных напряжений, оказывающих существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей: усталостную прочность, износостойкость и др.

При обработке резанием крупногабаритных маложестких деталей остаточные напряжения являются одной из главных причин коробления, выпучивания и других отклонений формы, значительно превосходящих допустимые. Остаточные напряжения являются причиной образования надрывов, микро- и макротрещин при обработке жестких деталей.

Установлено, что на величину, знак и характер распределения остаточных напряжений по глубине материала большее влияние оказы-