

С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с. **3.** Кафаров В.В. Проблемы управления химическими процессами. - М.: Знание, 1978. - 64 с. **4.** Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М.: Радио и связь, 1993. - 320 с. **5.** Хармут Х. Применение методов теории информации в физике. - М.: Мир, 1989. - 344 с. **6.** Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. - М.: Наука, 1964. - 364 с. **7.** Кафаров В.В., Глебов М.Е. Математическое моделирование основных процессов химических производств. -М.: Высш. шк., 1991. - 400 с. **8.** Аристов И.В. Имитационное моделирование миграционных процессов при электродиализной деминерализации растворов глицин-соляная кислота и аланин-соляная кислота// Сорбционные и хроматографические процессы. 2002. т.2. №2. С.257-264.

Сдано в редакцию 24.02.08

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**Ивченко Т.Г.** (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*Work is devoted perfection of analytical calculation method of thermal streams which are operating on the front and back surfaces of the cutting tool blade. Analytical researches of intercommunication of thermal streams are conducted in the area of cutting with a wear on the back surface of the cutting tool blade. The set dependences provide possibility of management thermal streams and allow regulating values of wear, providing the possible level of thermal streams on the front and back surfaces of the cutting tool blade in the wide range of change of tooling terms.*

### **Введение**

Исследование тепловых явлений при резании, влияющих на качество обработки деталей и работоспособность оборудования, оснастки, инструмента, представляет значительный интерес для повышения эффективности функционирования технологических систем. Современные тенденции интенсификации процесса резания приводят к существенному увеличению тепловых нагрузок на режущий инструмент, в связи с чем актуальность задач по их изучению еще более возрастает.

В настоящее время методы как экспериментальных, так и теоретических исследований теплового состояния режущего инструмента достаточно хорошо разработаны. Первый этап теплофизического анализа систем – изучение источников теплоты и основных закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания. Существующая методика анализа тепловых потоков [1, 2] весьма затруднительна для практического применения. Методика, представленная в работе [3], позволяет значительно упростить решение задачи определения тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, что значительно упрощает и возможности аналитического расчета температур резания [4]. Однако сведения, представленные в этих работах, охватывают лишь отдельные варианты обработки, в них отсутствуют общие закономерности формирования тепловых потоков в различных условиях эксплуатации режущего инструмента. Представляет интерес дальнейшее развитие методики аналитического определения тепловых потоков в зоне резания в широком диапазоне изменения условий механообработки.

Цель представляемой работы – дальнейшее усовершенствование методики расчета тепловых потоков в зоне резания и установление закономерностей формирования тепловых потоков в зависимости от параметров эксплуатации режущего инструмента.

#### Основное содержание и результаты работы

Количество теплоты, выделяющейся в процессе резания, эквивалентно работе резания. Общее количество теплоты, выделившейся при резании в единицу времени  $Q$ , определяется силой резания  $P_z$ (Н) и скоростью резания  $V$ (м/с):  $Q=P_zV$ .

На рис. 1 представлены источники возникновения и возможные пути распространения теплоты при резании, причем резец, стружка и деталь условно раздвинуты. Ось  $X$  в рассматриваемой системе координат ориентируется в направлении передней поверхности перпендикулярно главной режущей кромке;  $l$  - длина контактной площадки в направлении схода стружки;  $h$  - износ по задней поверхности;  $a$  - толщина среза;  $a_1$  – толщина стружки;  $\Phi$ - угол сдвига;  $\gamma, \alpha$  - передний и задний углы лезвия.

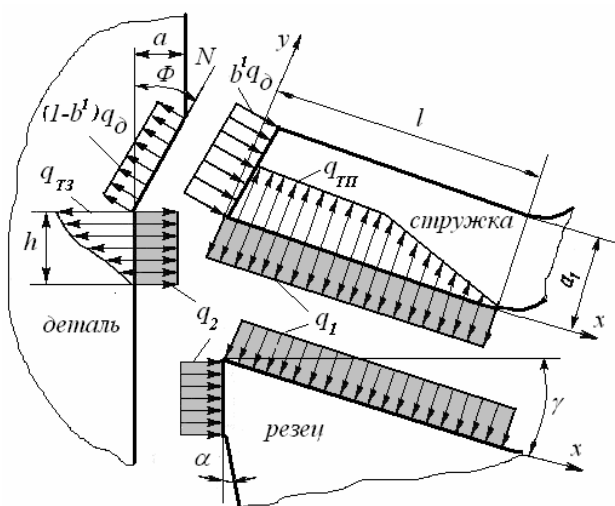


Рис. 1. Схема расположения источников теплоты в зоне резания при точении

В зоне резания возникают три основных источника теплоты: теплота деформации в зоне стружкообразования на плоскости сдвига  $N$  (интенсивность источника  $q_D$ ,  $b^l$  - коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку), теплота трения на площадке контакта между стружкой и передней поверхностью инструмента (интенсивность источника  $q_{TII}$ ) и теплота трения между задней поверхностью инструмента и деталью (интенсивность источника  $q_{T3}$ ). Теплота каждого из источников передается всем твердым телам, участвующим в процессе обработки - детали, резцу, стружке, причем в зоне резания имеет место переплетение путей движения потоков теплоты.

Плотности равномерно распределенных по площадкам  $bxl$  и  $bhx$  ( $b$  – ширина среза) тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента, определяются из системы уравнений [2]:

$$\begin{cases} \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2 = K_1 q_D + 1,4 K_2 \sqrt{kl/h} (q_{TII} - 1,3 q_1) \\ \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2 + \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 = K_1 q_D T_D + K_2 (q_{T3} - 1,82 q_2) \end{cases} ; \quad (1)$$

$$K_1 = (1+c) \omega_D k b' / \lambda_D V ; K_2 = 0,1 \sqrt{\omega_D h} / \lambda_D \sqrt{V} ,$$

где  $\lambda_D, \lambda_u, \omega_D, \omega_u$  – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материалов детали и инструмента соответственно;  $M_1, M_2, N_1, N_2$  - безразмерные функции, определяющие нагрев площадок на передней и задней поверхностях лезвия инструмента;  $k$  - коэффициент усадки стружки;  $V$  - скорость резания;  $c$  - коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали;  $T_D$  –

безразмерная функция распределения температур в детали, вызванных теплотой деформации;  $b'$  - коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку.

Безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок:

$$M_{1,2} = (4,88 + 2,64\eta_{1,2}^{0,5} \lg \eta_{1,2})\beta^{0,85}; N_{1,2} = (0,04 + 0,02 \eta_{1,2}^{0,6} \lg \eta_{1,2})B_{1,2}(h/l),$$

где  $\eta$  - безразмерная ширина среза:  $\eta_1 = b/l$ ,  $\eta_2 = b/h$  ( $\eta_{1,2} > 1$ );  $\beta = 90^\circ - \gamma - \alpha$  - угол заострения;  $b = t/\sin\varphi$  - ширина среза;  $t$  - глубина резания,  $\varphi$  - главный угол в плане;  $B_{1,2}(h/l)$  - специальные функции:  $B_1(h/l) = 2,85 - 0,9(h/l)$ ,  $B_2(l/h) = 2(l/h)^{0,54}$  при  $\beta = 90^\circ$  [3].

Коэффициент, учитывающий подогрев металла стружки за один оборот детали:

$$c = 0,23 \exp[-40(0,15 - \varphi_0)^2], (0,001 < \varphi_0 < 0,15); c = 0,23 \exp[-3,5(0,15 - \varphi_0)^2], (0,15 < \varphi_0 < 2),$$

где  $\varphi_0$  - безразмерный критерий:  $\varphi_0 = 4,17 \cdot 10^{-9} n a^2 / \omega_\delta$ ;  $n$  - частота вращения.

Безразмерная функция распределения температур в детали, вызванных теплотой деформации:

$$T_\delta = \sqrt{1 + l_2 \operatorname{tg} \Phi / 2a} - \sqrt{l_2 \operatorname{tg} \Phi / 2a}, \quad \Phi = \arcsin \left( \cos \gamma / \sqrt{k^2 - 2k \sin \gamma + 1} \right).$$

Коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку:

$$b' = 1 / (1 + 1,5k / \sqrt{Pe_o}),$$

где  $Pe_o$  - безразмерный критерий Пекле:  $Pe_o = 10^3 Va / 60 \omega_\delta \sin \Phi$ .

Плотности тепловых потоков от сил трения на площадках контакта между стружкой и передней поверхностью лезвия инструмента  $q_{1T}$ , между задней поверхностью лезвия инструмента и деталью  $q_{2T}$ , а также в зоне деформации  $q_\delta$  равны:

$$q_{1T} = 10^6 V (P_{Z0} \sin \gamma + P_{N0} \cos \gamma) / 60 k b l; \quad q_{2T} = 10^6 \sqrt{3} F V / 6 \sqrt{\pi} b h;$$

$$q_\delta = 10^6 V \sin \Phi [P_{Z0} (k - \sin \gamma) - P_{N0} \cos \gamma] / 60 a b k; \quad q_{1T} b l + q_{2T} b h + q_\delta a b k = Q,$$

где  $P_{Z0} = P_z - F_{mp}$  - разность тангенциальной силы резания и силы трения по задней поверхности лезвия;  $P_{N0} = P_y - N$  - разность нормальной составляющей силы резания и нормальной силы на задней поверхности лезвия.

В результате решения системы уравнений (1) установлены аналитические выражения плотностей тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента от основных параметров процесса резания:

$$q_1 = - \frac{(K_1 T_u N_2 h + K_2 q_{T3} N_2 h - 1,82 K_1 K_3 \lambda_u - M_2 K_3 h)}{(1,82 K_2 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 l h / \lambda_u)}; \quad (2)$$

$$q_2 = \frac{(K_3 - K_4 q_1)}{N_2 h}, \quad (3)$$

где  $K_3 = K_1 + 1,42 K_2 q_{1T} \sqrt{kl/h}$ ;  $K_4 = 1,85 K_2 \sqrt{kl/h} + N_1 l / \lambda_u$ .

Существенное влияние на изменение тепловых потоков в зоне резания оказывает износ по задней поверхности лезвия. При анализе графиков зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента от износа по задней поверхности  $h$  для различных условий обработки деталей из

конструкционных сталей твердосплавными резцами, представленных на рис. 2, установлено:

- плотности тепловых потоков на передней поверхности лезвия инструмента в зависимости от износа по задней поверхности убывают, а на задней – возрастают как для черновой, так и для чистовой обработок;

- значения плотностей тепловых потоков на задней поверхности лезвия инструмента в области допустимых значений износа (до  $h \leq 1 \dots 1,5$  мм при черновой обработке и до  $h \leq 0,4 \dots 0,5$  мм при чистовой) имеют отрицательные значения;

- значения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия при чистовой обработке в области допустимых значений износа (до  $h \leq 0,4 \dots 0,5$  мм) значительно выше, чем при черновой;

- плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия в области допустимых значений износа с увеличением скорости резания и уменьшением подачи снижаются.

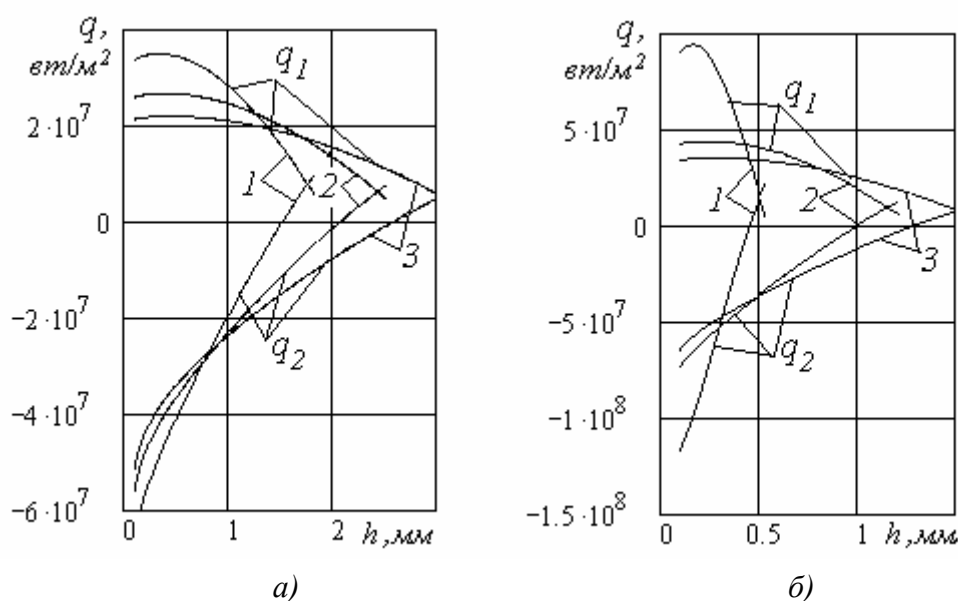


Рис. 2. Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней  $q_1$  и задней  $q_2$  поверхностях лезвия инструмента от износа по задней поверхности  $h$  для различных условий обработки:

- а) - черновая обработка при режимах резания: 1 -  $V = 150$  м/мин,  $s = 0,5$  мм/об; 2 -  $V = 100$  м/мин,  $s = 0,7$  мм/об; 3 -  $V = 80$  м/мин,  $s = 0,9$  мм/об ( $t = 5$  мм; Т5К10);
- б) - чистовая обработка при режимах резания: 1 -  $V = 250$  м/мин,  $s = 0,1$  мм/об; 2 -  $V = 200$  м/мин,  $s = 0,3$  мм/об; 3 -  $V = 150$  м/мин,  $s = 0,4$  мм/об ( $t = 3$  мм; Т15К6).

Отрицательное значение плотности теплового потока на задней поверхности лезвия ( $q_2 < 0$ ) свидетельствует о направлении потока в сторону детали, что способствует охлаждению лезвия. По мере изнашивания задней поверхности инструмента теплота, вызванная трением на этой поверхности, возрастает, абсолютное значение плотности теплового потока  $q_2$  уменьшается и в некоторый момент времени становится равным нулю, а затем меняет знак ( $q_2 > 0$ ). Теплота поступает в инструмент со стороны обеих контактных площадок, что приводит к существенному повышению температуры резания и катастрофическому изнашиванию лезвия инструмента. Значение критического износа  $h_0$ , при котором тепловой поток  $q_2 = 0$ , может быть определено из уравнения:

$$\frac{[K_1 q_\partial(h) + 1,42 K_2(h) q_{1T}(h) \sqrt{kl/h}] I N_1(h)}{[M_1 l / \lambda_u + 1,851,42 K_2(h) \sqrt{kl/h}] \lambda_u} = q_{2T}(h) [K_1 q_\partial(h) T_\partial(h) + K_2(h)]. \quad (4)$$

В результате численного решения этого уравнения получены значения критического износа  $h_0$  для различных режимов резания в условиях черновой и чистовой обработок, представленные на рис. 3. Установлено, что с увеличением скорости резания значения критического износа  $h_0$  уменьшаются, с увеличением подачи – возрастают. С использованием регрессионного анализа установлены аналитические зависимости значений критического износа  $h_0$  от скорости резания  $V$  и подачи  $S$  в условиях черновой и чистовой обработок (погрешность не превышает 10%):

$$h_{0\text{черн}} = 6V^{-0,17} S^{0,72}; \quad h_{0\text{чист}} = 6V^{-0,18} S^{0,70}. \quad (5)$$

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - сталь 45;  $\sigma_s = 750$  МПа; коэффициент усадки  $k = 2,0$ ; параметры резцов: углы в плане  $\varphi = \varphi_l = 45^\circ$ ; передний угол  $\gamma = -7^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 7^\circ$ ; угол заострения  $\beta = 90^\circ$ .

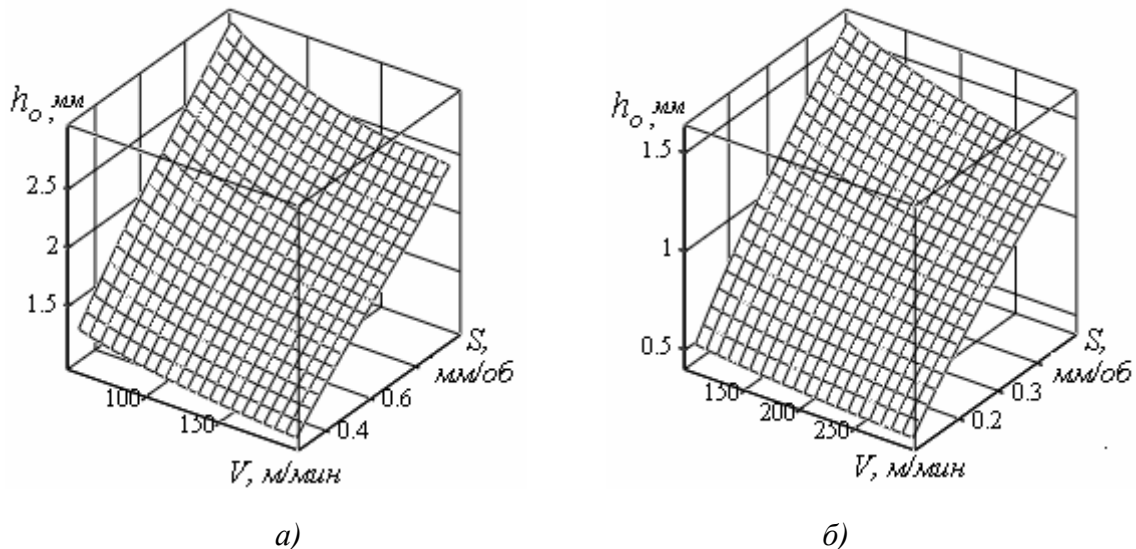


Рис. 3. Графики зависимости значений критического износа  $h_0$  от режимов резания: скорости резания  $V$  и подачи  $S$  при черновой - а) и чистовой - б) обработках

Установленные зависимости позволяют прогнозировать предельный по температуре резания критерий затупления для различных условий эксплуатации режущего инструмента. Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять указанные расчеты для любых условий обработки

#### Заключение

На основании разработанной методики расчета тепловых потоков в зоне резания установлены взаимосвязи плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента с износом по задней поверхности лезвия при различных режимах резания в условиях черновой и чистовой токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными инструментами.

Разработанная методика может быть широко использована для прогнозирования закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания в зависимости от свойств инструментальных материалов, геометрических параметров инструментов, режимов резания для любых видов режущих инструментов.

**Список литературы:** 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. –288с. 2. Резников А.Н. Теплофизика резания. - М.: Машиностроение, 1969. –288с. 3. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.20. – Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.88-94. 4. Ивченко Т.Г. Совершенствование методики аналитического определения температуры резания // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2007. Вып. 33. – С.103-110.

Сдано в редакцию 16.01.08

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ЛЕЗОВОЇ ТА ВІДДІЛЧНО-ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ**

**Івченко Т.Г., Петряєва І.О. (ДонНТУ, г. Донецьк, Україна)**

*On the basis of complex research of intercommunications between the parameters of treatment and their optimization on the criterion of the burst performance the important practical task of development of theoretical government the processes of combined treatment is decided*

### **Вступ**

Використання комбінованих методів механічної обробки деталей машин достатньо перспективно для підвищення ефективності сучасного машинобудівного виробництва. Різноманіття методів механообробки визначає широту можливостей по їх комбінуванню. Проте не всі комбінації мають практичну цінність. У багатьох випадках технічні показники комбінованих процесів близькі, частина процесів несумісна і їх поєднання може привести до погіршення якісних характеристик поверхневого шару. Особливе місце серед методів підвищення якості деталей машин займає комбінована обробка, що суміщає лезову і відділочно-зміцнювальну обробки. Такий метод дозволяє не тільки підвищити якість поверхні, але і дає можливість збільшити продуктивність, знизити трудомісткість обробки, що є істотною перевагою комбінованої обробки перед іншими засобами підвищення якості поверхневого шару.

Основні закономірності формування поверхневого шару деталей окремо для лезової та відділочно-зміцнювальної обробки широко представлені в довідково-нормативній літературі у вигляді теоретичних і емпіричних залежностей [1, 2, 3]. Проте відомості про особливості комбінованої обробки практично відсутні, що утрудняє обґрунтування раціональних умов її застосування і прогнозування параметрів стану обробленої поверхні.

В наступний час відомі рекомендації по оптимізації режимів комбінованої обробки точінням і обкатуванням з використанням методу лінійного програмування [4]. Серед методів відділочно-зміцнювальної обробки значне місце займає алмазне вигладжування [5]. Практичний інтерес представляє обґрунтування можливості використання комбінованої обробки точінням та вигладжуванням та визначення