

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНСТРУМЕНТА С ВНУТРЕННИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Введение

Процессы механической обработки деталей машин сопровождаются значительным выделением теплоты, в результате чего весьма высокие температуры, возникающие в зоне резания, ограничивают производительность и неблагоприятно сказываются на качестве обработанной поверхности. В связи с этим исследования возможностей снижения температур при резании весьма актуальны.

Одним из наиболее эффективных способов снижения температур при различных видах механической обработки является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) [1]. В настоящее время достаточно хорошо разработаны методы оценки теплового состояния режущего инструмента при использовании СОТС, подающихся различными способами в зону резания извне – как со стороны передней, так и задней поверхностей лезвия инструмента [2, 3]. Однако, для отдельных случаев обработки, например, при высокоскоростном резании, при обработке чугуна, возникают трудности в использовании внешних охлаждающих сред.

Перспективным направлением совершенствования способов применения СОТС является использование режущих инструментов с внутренним охлаждением лезвия, что успешно решает проблемы разбрызгивания, загрязнения и чрезмерного расхода СОТС [4]. В этом случае охлаждающая среда под давлением нагнетается в каналы, расположенные внутри инструмента. Обработка резанием осуществляется всухую, охлаждение контактных зон инструмента осуществляется за счет циркуляции среды по внутренним каналам.

Однако теоретические основы расчета температур в зоне резания при использовании таких инструментов практически отсутствуют, что затрудняет оценку эффективности внутреннего охлаждения в сравнении с другими методами. Представленные в работе [5] общие подходы к определению температурного поля в лезвии режущего инструмента при использовании каналов внутреннего охлаждения требуют дальнейшего развития с точки зрения анализа температур в зоне резания и возможностей их снижения.

Целью представленной работы является разработка методики определения температур в зоне резания при использовании инструмента с внутренним охлаждением и анализ возможностей снижения температур резания.

Основное содержание и результаты работы

В основу предлагаемой методики определения температурных полей при использовании инструмента с внутренним охлаждением заложен принцип суперпозиции независимых температурных полей, возникающих в лезвии инструмента под воздействием источников теплоты на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, а также под воздействием стока теплоты внутрь канала охлаждения.

Температурное поле в лезвии инструмента при наличии каналов внутреннего охлаждения (рис.1) формируется под воздействием тепловых потоков q_1 на передней поверхности (в зоне контакта со стружкой длиной l) и q_2 на задней поверхности (в пре-

делах износа по задней поверхности h), а также под воздействием стока теплоты q_o внутрь канала диаметром d_o , ось которого имеет координаты x_o, z_o .

За счет прохождения СОТС по цилиндрическому каналу внутреннего охлаждения образуется сток теплоты с равномерным по поверхности канала распределением плотности тепловыделения q_o . В соответствии с законом Ньютона – Рихмана, описывающим процесс конвективного теплообмена [1]:

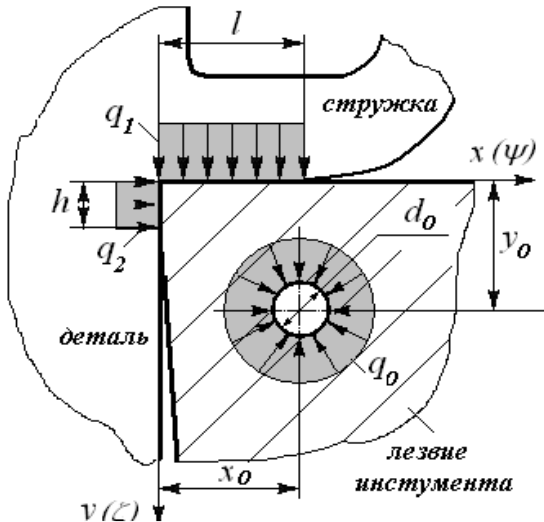


Рис. 1. Схема расположения тепловых потоков в лезвии инструмента при внутреннем охлаждении

течении среды в цилиндрических каналах определяется длиной канала H : $l = H$); w – скорость потока; ν, λ, ω – коэффициенты кинематической вязкости, теплопроводности и температуропроводности среды.

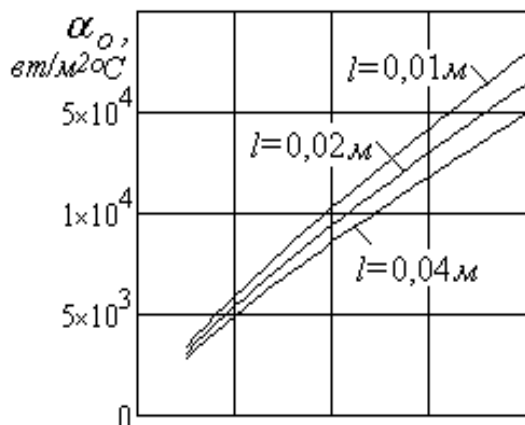


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента теплоотдачи α_o от скорости подачи жидкости W

суперпозиции независимых температурных полей возникает под воздействием теплового потока q_1 на передней поверхности - $\Theta_1(x,y,z)$, а также под воздействием стока теплоты q_o внутрь канала охлаждения. $\Theta_o(x,y,z)$:

$$q_o = \alpha_o (\Theta_s - \Theta_o), \quad (1)$$

где α_o - коэффициент теплоотдачи на поверхности канала внутреннего охлаждения; Θ_s - температура на поверхности канала, Θ_o - температура охлаждающей среды.

При течении среды в цилиндрических каналах и в каналах неправильной формы для определения коэффициента теплоотдачи α_o используется критериальное уравнение:

$$Nu_o = 0.021 Re_o^{0.8} Pr_o^{0.43} (Pr_o/Pr_s)^{0.25}, \quad (2)$$

где $Nu_o = \alpha_o l / \lambda$ – критерий Нуссельта; $Re_o = wl/\nu$ – критерий Рейнольдса; $Pr_o = \nu/\omega$ – критерий Прандтля; l – характерный размер (при

При использовании СОТС на основе водных растворов, имеющих теплофизические свойства, близкие к свойствам воды, коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_o = 2.6 \cdot 10^3 w^{0.8} / l^{0.2}. \quad (3)$$

Графики зависимости коэффициента теплоотдачи α_o от скорости подачи жидкости W , приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что, коэффициент теплоотдачи возрастает с повышением скорости и уменьшается с увеличением характерного размера l , то есть длины цилиндрического канала.

Температурное поле в лезвии инструмента с внутренним охлаждением по принципу

$$\Theta_{\Sigma}(x, y, z) = \Theta_1(x, y, z) + \Theta_o(x, y, z). \quad (4)$$

Такой подход справедлив для работы острозаточенным инструментом и при весьма незначительном износе ($h \approx 0$), когда температурным полем, возникающим в лезвии инструмента под воздействием теплового потока q_2 на задней поверхности - $\Theta_2(x, y, z)$ можно пренебречь.

Трехмерное температурное поле, возникающее в лезвии инструмента под действием источника, действующего на его передней $\Theta_1(x, y, z)$ поверхности с учетом перехода к безразмерным координатам и безразмерному температурному полю $T_1(\psi, \zeta, \nu)$, описывается следующим образом [3]:

$$\Theta_1(x, y, z) = P_1 T_1(\psi, \zeta, \nu) = P_1 \int_0^1 d\psi_u \int_{-\eta}^{\eta} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_e)^2 + \nu^2 + (\zeta - \zeta_e)^2}}, \quad (5)$$

где $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = y/l$, $\zeta_u = y_u/l$, $\nu = z/l$ - безразмерные координаты (x, y, z - координаты любой точки тела; x_u, y_u, z_u - координаты любой точки источника); $\eta = b/l$ - безразмерная ширина среза (b - ширина среза); $P_1 = K_{\beta} q_1 l / 4\pi\lambda_u$, - размерный коэффициент: K_{β} - коэффициент перехода от неограниченного пространства к неограниченному клину; λ_u - коэффициент теплопроводности инструментального материала.

Температурное поле в лезвии инструмента при наличии цилиндрического канала внутреннего охлаждения с координатами оси x_o, z_o для неподвижного непрерывно действующего кольцевого источника (стока) теплоты радиусом $r_o = d_o/2$ с равномерной по длине окружности плотностью тепловыделения q_o может быть представлено следующим образом [1]:

$$\Theta_o(x, y, z) = \frac{q_o r_o K(\mu)}{\pi\lambda \sqrt{\left(\sqrt{(x-x_o)^2 + (y-y_o)^2 + r_o^2}\right)^2 + z^2}} = P_o T_o(\psi, \zeta, \nu), \quad (6)$$

где $\mu = \arcsin \left[2\sqrt{r_o \sqrt{(x-x_o)^2 + (y-y_o)^2}} / \sqrt{\left(\sqrt{(x-x_o)^2 + (y-y_o)^2 + r_o^2}\right)^2 + z^2} \right]$; $K(\mu)$ - полный эллиптический интеграл первого рода; $T_o(\psi, \zeta, \nu)$ - безразмерное температурное поле.

С использованием перехода к безразмерным координатам и безразмерному температурному полю $T_o(\psi, \zeta, \nu)$ получаем:

$$\Theta_o(x, y, z) = P_o T_o(\psi, \zeta, \nu) = P_o \frac{\rho_o K(\mu)}{\sqrt{\left(\sqrt{(\psi - \psi_o)^2 + (\zeta - \zeta_o)^2 + \rho_o^2}\right)^2 + \nu^2}}, \quad (7)$$

где $\psi_o = x_o/l$, $\zeta_o = y_o/l$ - безразмерные координаты оси канала внутреннего охлаждения; $\rho_o = r_o/l$ - безразмерный радиус канала; $P_o = q_o/\pi\lambda$ - размерный коэффициент.

Учитывая, что плотность тепловыделения q_o зависит от температуры на поверхности канала Θ_s , которая в свою очередь меняется при изменении положения канала, с достаточной точностью можно считать:

$$q_o = \alpha_o P_1 T_1(\psi_o, \zeta_o, \nu_o). \quad (8)$$

Суммарное распределения температур на передней поверхности лезвия, возникающее под действием двух указанных одновременно действующих источников, в сечении лезвия инструмента, перпендикулярном главной режущей кромке ($y = 0, z = 0$):

$$\Theta_{\Sigma}(x) = P_1 T_1(\psi) + P_o T_o(\psi, \zeta) = P_1 (T_1(\psi) + \chi_o T_o(\psi)) = P_1 T_{\Sigma}(\psi), \quad (9)$$

где $\chi_o = P_o/P_1 = \alpha_o T_1(\psi_o, \zeta_o)/\pi\lambda$ - безразмерный параметр, учитывающий соотношение безразмерных коэффициентов.

Суммарное безразмерное распределения температур на передней поверхности лезвия ($\zeta = 0, v = 0$):

$$T_{\Sigma}(\psi) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-0.5\eta}^{+0.5\eta} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_e)^2 + \zeta_u^2}} - \frac{\chi_o \rho_o K(\mu)}{\sqrt{(\psi - \psi_o)^2 + \zeta_o^2 + \rho_o}}, \quad (11)$$

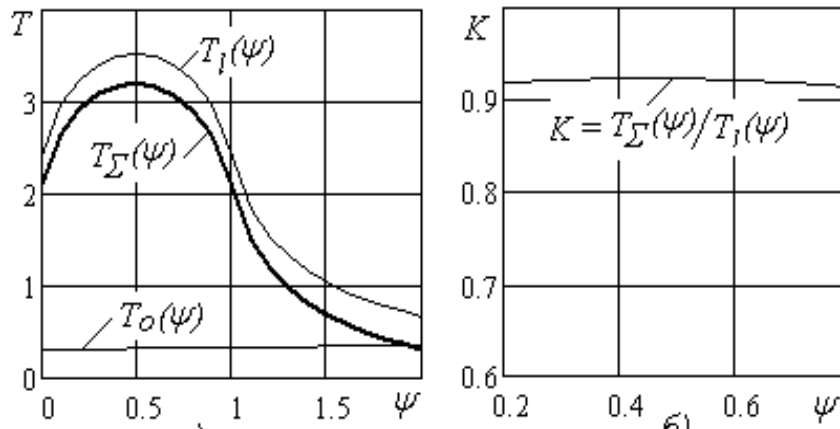


Рис. 3. Графики распределения безразмерных температур на передней поверхности лезвия – а) и коэффициента снижения температур при использовании охлаждения – б)

Графики распределения безразмерных температур на передней поверхности лезвия при обработке без охлаждения – $T_1(\psi)$ и с учетом охлаждения – $T_{\Sigma}(\psi)$ приведены на рис. 3а. Расчеты выполнены для $\psi_o = \zeta_o = 5; \rho_o = 1; T_1(5,5,0) = 0,149; K(\mu) = 2; \chi_o = 1,79$.

Для оценки эффективности снижения температуры при использовании каналов внутреннего охлаждения

предлагается коэффициент снижения температуры, общие закономерности изменения которого будут справедливы как для безразмерных, так и фактических температур:

$$K = T_{\Sigma}(\psi)/T_1(\psi). \quad (12)$$

В указанных условиях этот коэффициент $K = 0,92$ (рис.3б).

Графики изменения коэффициента снижения температуры в зависимости от безразмерного радиуса канала охлаждения ρ_o (для разных координат ψ_o) и безразмерных координат оси канала ψ_o, ζ_o (для разных радиусов ρ_o) представлены на рис. 4 а и рис. 4 б.

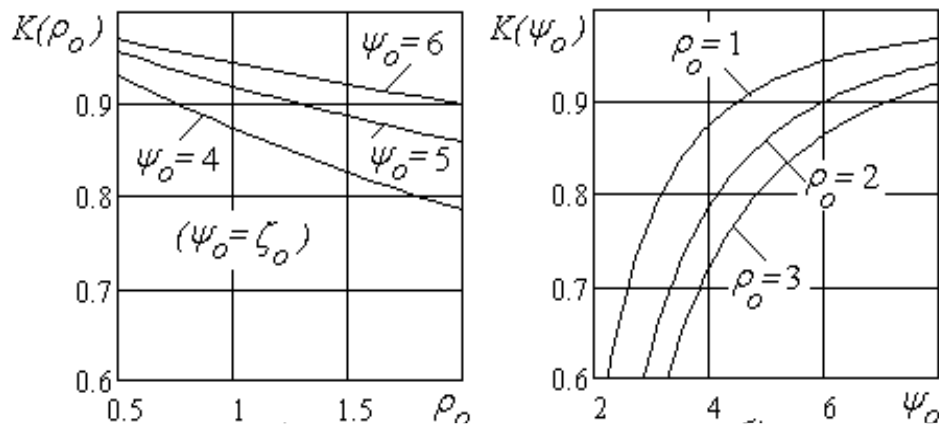


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента снижения температур от безразмерного радиуса канала охлаждения ρ_0 – а) и безразмерных координат оси канала ψ_0, ζ_0 – б)

Чем больше радиус отверстия цилиндрического канала охлаждения (при постоянном коэффициенте теплоотдачи) и меньше координаты его оси отверстия, тем меньше коэффициенты, а, следовательно, тем больше степень снижения температуры на

передней поверхности лезвия инструмента и эффективнее охлаждение.

Выводы

Таким образом, разработана методика определения температурного поля в лезвии режущего инструмента при использовании каналов внутреннего охлаждения и дан анализ эффективности снижения температуры на передней поверхности лезвия инструмента на основании коэффициента снижения температуры за счет изменения параметров охлаждающих каналов. Методика может найти широкое применение для определения температур в лезвиях различных инструментов с внутренним охлаждением.

Перечень источников литературы: 1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников - М.: Машиностроение, 1990. – 288с. 2. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при точении / Т.Г. Ивченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 5. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. - С.23-29. 3. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей / Т.Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.26. – Краматорськ: ДДМА, 2010.- С.90 -96. 4. Худобин Л.В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский. – М.: Машиностроение, 1977. – 189с. 5. Ивченко Т.Г. Определение температурного поля в лезвии режущего инструмента при использовании внутреннего охлаждения / Т.Г. Ивченко, И.А. Петряева, И.Ю. Зайцева // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XIX международной конференции в г. Севастополе 17-21 сентября 2012г. В 4-х томах. - Донецк: ДонНТУ, 2012. Т.1. - С. 275- 277.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНСТРУМЕНТА С ВНУТРЕННИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ивченко Т.Г., Король К.О.

В настоящей работе на основании анализа тепловых потоков разработана методика определения температурного поля в лезвии режущего инструмента при использовании каналов внутреннего охлаждения. Выполнен анализ возможностей снижения температур в зоне резания. Методика может найти широкое применение для определения тепловых потоков и температур в лезвиях различных инструментов с внутренним охлаждением.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТА З ВНУТРІШНІМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Т.Г. Івченко, К.А. Король

В представленій роботі на підставі аналізу теплових потоків розроблена методика визначення температурного поля в лезі різального інструменту при використанні каналів внутрішнього охолодження. Виконаний аналіз можливостей зниження температур в зоні різання. Методика може знайти широке застосування для визначення теплових потоків і температур в лезах різних інструментів з внутрішнім охолодженням.

ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF THE CUTTING TEMPERATURE DECLINE AT THE USE OF CUTTING TOOL WITH INTERNAL COOLING

T.G. Ivchenko, K.A. Korol

In the presented work on the basis of analysis of thermal streams the method of determination of the temperature field in the blade of tool piece at the use of of the internal cooling is presented. The analysis of possibilities of temperatures decline in the area of cutting is given. A method can find a wide use for determination of thermal streams and temperatures in the blades of different tools with the internal cooling.

Ключевые слова: тепловой поток, температура, охлаждающая среда, канал цилиндрический.

Ключові слова: тепловий потік, температура, охолоджуюче середовище, канал циліндричний.

Key words: thermal streams, temperature, environment cooling, cylindrical channel