УДК 621.9: 658.5

Т. Г. Ивченко, канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕЗВИЯ ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ВЗАИМОСВЯЗИ ИЗНОСА И ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Установлены общие закономерности изменения тепловых потоков и температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации. Предложена усовершенствованная форма задней поверхности лезвия инструмента, позволяющая в течение длительного времени поддерживать постоянное значение износа по задней поверхности, обеспечивающее минимальную температуру резания.

Ключевые слова: *тепловой поток, температура резания, задняя поверхность, износ*

T. G. Ivchenko

THE GROUND OF THE RATIONAL FORM OF THE CUTTING TOOL FLANK SURFACE TAKING INTO ACCOUNT INTERCOMMUNICATION OF THE WEAR AND CUTTING TEMPERATURE

General conformities to the law of change of temperature of cutting depending on the wear of instrument are set in the process of his exploitation. The improved form of the cutting tool flank surface, which allows during great while to support the permanent value of wear on the flank surface, providing the minimum cutting temperature, is offered.

Key words: *thermal stream, cutting temperature, flank surface, wear.*

1. Введение

Одним из направлений повышения эффективности технологических систем является совершенствование режущего инструмента, в связи с чем, тема представленной работы весьма актуальна. Наибольшее влияние на работоспособность режущего инструмента оказывает его тепловое состояние. Температура на передней и задней поверхностях лезвия инструмента в значительной мере определяют закономерности их изнашивания и качество обработанной поверхности деталей машин.

В настоящее время тепловые явления при резании достаточно хорошо изучены [1]. Существующие методики позволяют рассчитывать тепловые потоки и температуры в зоне резания для любых условий обработки [2, 3, 4].

Установлено, что особую трудность при анализе теплового состояния режущего инструмента представляет переменность параметров процесса резания, связанная с неизбежным изнашиванием лезвия. Вследствие этого источники теплоты на передней и задней поверхностях лезвия изменяются как по размерам, так и по интенсивности тепловыделения, что приводит к изменению тепловых потоков [2] и температуры резания [3, 4] в течение периода стойкости инструмента при постоянстве всех прочих параметров. Анализ общих закономерностей изменения температур резания в зависимости от износа инструмента позволил обосновать критерий износа по задней поверхности, обеспечивающий минимальную температуру резания для токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами [5]. Представляет интерес дальнейшее развитие тепловых исследований в направлении совершенствования конструкции инструмента с учетом взаимосвязи износа и температуры резания.

Цель работы – повышение периода стойкости режущего инструмента за счет

обоснования рациональной формы его задней поверхности.

2. Основное содержание и результаты работы

Температура резания в зависимости от износа $\Theta(h)$ рассчитывается как средняя температура на передней $\Theta_1(h)$ и задней $\Theta_2(h)$ поверхностях лезвия инструмента [5] с учетом влияния износа на все параметры процесса резания:

$$\begin{aligned}&\Theta(h)=[\Theta_1(h)l+\Theta_2(h)h]/(l+h);\\&\Theta_1(h)=[q_1(h)M_1l+q_2(h)N_2(h)h]/\lambda_u;\\&\Theta_2(h)=[q_2(h)M_2(h)h+q_1(h)N_1(h)l]/\lambda_u,\end{aligned} \quad (1)$$

где l - длина контакта передней поверхности лезвия со стружкой; h - износ по задней поверхности лезвия; q_1 и q_2 - плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях; λ_u – коэффициент теплопроводности материала инструмента; $M_{1,2}(h)$, $N_{1,2}(h)$ - безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок на передней и задней поверхностях лезвия.

Плотности тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия инструмента в зависимости от теплофизических характеристик детали и инструмента и основных параметров процесса резания определяются следующим образом [5]:

$$q_1(h)=\frac{K_1K_3\lambda_u-K_2(h)N_2(h)h+K_1M_2(h)h}{K_3(h)K_4\lambda_u+M_2(h)K_4h-N_1(h)N_2(h)lh/\lambda_u};\ q_2(h)=\frac{(K_1-K_4q_1(h))\lambda_u}{N_2(h)h}, \quad (2)$$

где $K_1=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c1}q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}}$; $K_2(h)=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial T_\partial}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c2}q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}$;

$K_3(h)=1{,}82K_{c2}\sqrt{\omega_\partial h/V}/\lambda_\partial$; $K_4=1{,}3K_{c1}\sqrt{\omega_\partial kl/V}/\lambda_\partial+M_1l/\lambda_u$; λ_∂, ω_∂ – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материала детали; V – скорость резания; c - коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали; q_∂, q_{1T}, q_{2T} - плотности тепловыделения в зоне стружкообразования, в зонах трения стружки с передней поверхностью лезвия и детали с задней поверхностью лезвия соответственно; b' - коэффициент относительного количества теплоты, уходящего в стружку; T_∂ - безразмерная функция распределения температур в детали, вызванных теплотой деформации K_{c1}, K_{c2} – коэффициенты, учитывающие законы распределения плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия.

Представление температуры резания (1) в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерности ее изменения независимо от условий обработки $\Theta(h)=PT(\chi)$:

$$\begin{aligned}&T(\chi)=[T_1(\chi)+\chi\mu(\chi)T_2(\chi)]/(1+\chi);\\&T_1(\chi)=M_1+\chi\mu(\chi)N_2(\chi);\\&T_2(\chi)=N_1(\chi)+\chi\mu(\chi)M_2(\chi),\end{aligned} \quad (3)$$

где $\chi = h/l$ - безразмерный износ; $\mu(\chi) = q_2(h)/q_1(h)$ – безразмерный коэффициент отношения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия; $P = q_1(h)l/\lambda_u$ – размерный коэффициент, учитывающий условия обработки; $M_{1,2}(\chi) =$

$(4{,}88+2{,}64\eta_{1,2}^{0,5}\lg\eta_{1,2})\beta^{-0,85}$; $N_{1,2}(\chi) = (0{,}04+0{,}02\,\eta_{1,2}^{0,6}\lg\eta_{1,2})B_{1,2}(\chi)$ - безразмерные функции ($\eta_1 = b/l$, $\eta_2 = b/h$ ($\eta_{1,2}>1$)); β - угол заострения; $B_{1,2}(\chi)$ - специальные функции.

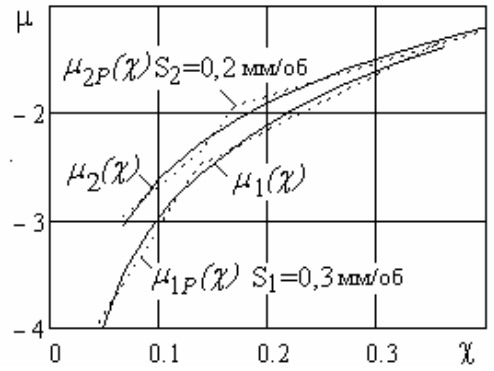

Рисунок 1 - Графики зависимостей безразмерных коэффициентов $\mu(\chi)$ от безразмерного износа

На основании установленных плотностей тепловых потоков (2) выполнен анализ влияния безразмерного износа по задней поверхности χ на безразмерный коэффициент отношения плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия инструмента $\mu(\chi) = q_2(h)/q_1(h)$ (рис. 1).

Расчеты выполнялись для следующих условий обработки: материал - сталь 45; $\sigma_в$ = 750МПа; коэффициент усадки k = 2,0. Резцы Т15К6: главные и вспомогательные углы в плане $\varphi = \varphi_1 = 45°$; передний угол $\gamma = 12°$; задний угол $\alpha = 7°$; угол заострения $\beta = 90°$. Глубина резания t = 1мм, подачи S_1 = 0,3мм/об; S_2 = 0,2мм/об; скорость резания V = 150м/мин.

С использованием регрессионного анализа установлены зависимости безразмерного коэффициента $\mu(\chi)$ от безразмерного износа по задней поверхности χ, позволяющие выполнять расчеты безразмерных температур. Установлено, что скорость резания практически не влияет на коэффициент $\mu(\chi)$; подача влияет весьма незначительно – графики представлены для различных подач ($\mu_{1P}(\chi)$ соответствует подаче S_1 = 0,3мм/об; $\mu_{2P}(\chi)$ - подаче S_2 = 0,2мм/об):

$$\mu_{1P}(\chi) = \begin{cases} -4{,}7 + 14{,}8\chi & при\ \chi \le 0{,}14; \\ -3{,}2 + 4{,}7\chi & при\ \chi \le 0{,}14; \end{cases} \qquad \mu_{2P}(\chi) = \begin{cases} -3{,}5 + 11{,}4\chi & при\ \chi \le 0{,}12; \\ -2{,}5 + 4{,}2\chi & при\ \chi \le 0{,}12. \end{cases} \tag{4}$$

Закономерности формирования безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия инструмента представлены на рис. 2.

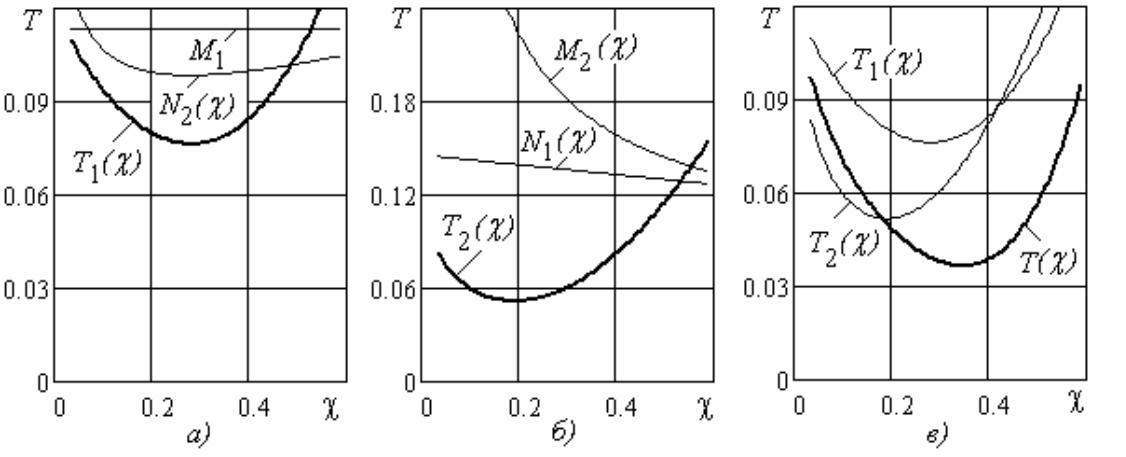

Рисунок 2 - Графики зависимостей безразмерных температур и их составляющих на передней $T_1(\chi)$ – *а)* и задней $T_2(\chi)$ - *б)* поверхностях лезвия инструмента, а также безразмерной температуры резания $T(\chi)$ – *в)* от безразмерного износа χ

Наибольшая безразмерная температура резания $T(\chi)$ имеет место при работе острозаточенным инструментом (при $\chi = 0$). По мере изнашивания инструмента температура как на передней $T_1(\chi)$, так и на задней $T_2(\chi)$поверхностях лезвия инструмента, а также и температура резания $T(\chi)$ снижаются. Это связано с действием теплового потока на задней поверхности, направленного из инструмента в деталь [5], существенно охлаждающего лезвие инструмента.

Для определения критического безразмерного износа χ_o, при котором достигается наименьшая температура, необходимо найти производную температуры резания $\partial T(\chi)/\partial\chi$ и решить уравнение:

$$\frac{\partial[[T_1(\chi)+\chi\mu(\chi)T_2(\chi)]/(1+\chi)]}{\partial\chi}=0. \qquad (5)$$

В результате численного решения этого уравнения получены значения критического безразмерного износа χ_o = 0,3, которые обеспечивают минимальную в течение периода стойкости режущего инструмента температуру резания при постоянстве всех остальных параметров процесса резания. Для перехода к размерному износу h_o необходимо учесть фактическую длину контакта передней поверхности лезвия со стружкой: $h_o = l\chi_o$. Для указанных ранее условий l = 1,33мм, h_o = 0,4мм.

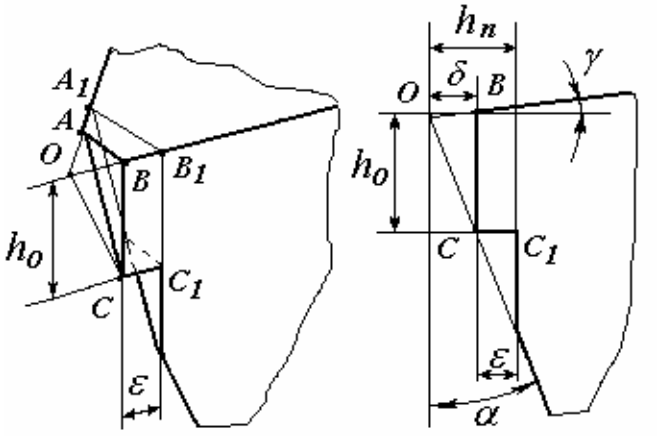

Рисунок 3 - Схема для определения парамеров, определяющих форму задней поверхности

Установленные значения критического износа h_o позволяют обосновать рациональные размеры уступов на задней поверхности лезвий, предлагаемых для повышения периода стойкости инструмента (рис. 3). Уступ на задней поверхности выполняется на расстоянии OC от вершины лезвия O на глубину CC_1, задаваемую в зависимости от требуемого периода стойкости инструмента.

С достаточной степенью приближения можно считать:

$OC = h_o/\cos\alpha$;

$h_n = \delta + \varepsilon = h_o tg\alpha + \varepsilon$.

График зависимости износа по задней поверхности лезвия инструмента h от продолжительности резания τ для указанных ранее условий представлен на рис. 4. Установлена связь износа со временем: $h = 0{,}08 + 0{,}013\tau$. Интенсивность изнашивания составляет I = 0,13мм/мин.

Для принятого в условиях чистовой обработки критерия затупления по задней поверхности $h_{кр}$ = 0,5мм заданный расчетный период стойкости $T_{рас}$ = 30мин. При наличии уступа на глубину ε = 0,3мм (при h_o = 0,4мм) с момента времени $T_{нач}$ = 25мин величина износа по задней поверхности в течение времени $\Delta T = \varepsilon/I$ = 23мин будет оставаться неизменной. При этом неизменными будут температура на задней поверхности лезвия и температура резания, которая при этом имеет минимально возможное значение. Период стойкости составит T_O = 48мин, что в 1,6 раза выше, чем расчетный. Таким

образом, предложенная форма задней поверхности лезвия обеспечивает возможность повышения стойкости режущего инструмента.

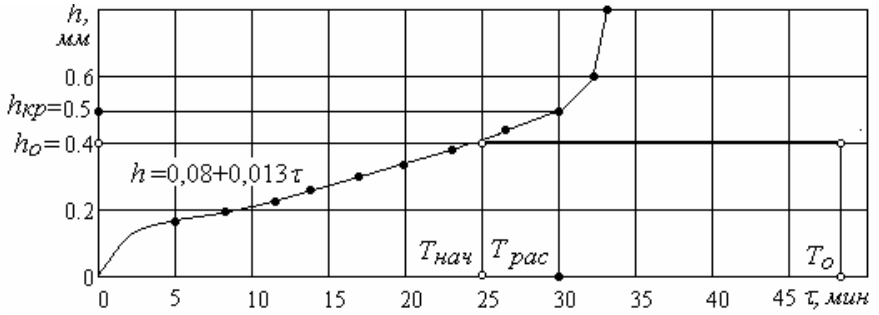

Рисунок 4 - График зависимости износа по задней поверхности лезвия инструмента *h* от продолжительности резания τ

Выводы.

Установлены общие закономерности изменения тепловых потоков и температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации. Предложена усовершенствованная форма задней поверхности лезвия инструмента, позволяющая в течение длительного времени поддерживать постоянное значение износа по задней поверхности, обеспечивающее минимальную температуру резания. Обосновано повышение периода стойкости режущего инструмента за счет обоснования рациональной формы его задней поверхности. Разработанная методика определения температур резания с учетом закономерностей их изменения в связи с износом может быть использована для любых видов режущих инструментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резников, А. Н. Тепловые процессы в технологических системах / А. Н. Резников, Л. А.Резников. - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

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. – Донецьк: ДонНТУ, 2008. - № 5. - С. 23-29.

3. Ивченко, Т. Г. Анализ закономерностей изменения температурного поля режущего инструмента в процессе его эксплуатации / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. - № 37. – С. 84 - 89.

4. Ивченко, Т. Г. Исследование общих закономерностей изменения температуры резания в различных условиях обработки / Т. Г. Ивченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. - № 6. - С. 49 -55.

5. Ивченко, Т. Г. Закономерности изменения температур резания в зависимости от износа режущего инструмента для различных условий обработки / Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения – Донецк: ДонНТУ, 2014. - № 4(50). – С. 102-106.

Поступила в редколлегию 14.02.2017г.