

УДК 621.9: 658.5

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

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Разработана методика определения температур резания с учетом закономерностей их изменения в процессе обработки. Установлены общие закономерности изменения тепловых потоков и температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации. Обоснован критерий износа, обеспечивающий минимальную температуру резания для токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами.

Ключевые слова: тепловой поток, температура резания, износ, критерий затупления.

1. Введение

Эффективность функционирования технологических систем в значительной мере определяется тепловыми явлениями при резании, влияющими на качество обработки деталей машин и работоспособность режущего инструмента. 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 экспериментальные, так и теоретические методы исследований теплового состояния режущего инструмента достаточно хорошо разработаны [1]. Однако решение конкретных практических задач требует их постоянного развития и совершенствования.

Особую трудность при анализе теплового состояния режущего инструмента представляет переменность параметров процесса резания, связанных 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 температуры резания в течение периода стойкости инструмента при постоянстве всех прочих параметров.

Исследования влияния износа по задней поверхности лезвия инструмента на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания в различных условиях черновой и чистовой токарной обработки [2, 3] не содержат информации о влиянии износа на температуру резания.

Общие закономерности изменения температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации [4, 5] представлены в безразмерном виде и требуют дальнейшего изучения для конкретных условий обработки с различными параметрами.

Цель работы – установить закономерности изменения тепловых потоков и температур резания в зависимости от износа режущего инструмента для различных условий обработки.

2. Основное содержание и результаты работы

Температура резания в зависимости от износа рассчитывается как средняя температура на передней Θ_1 и задней Θ_2 поверхностях лезвия инструмента [1] с учетом влияния износа на все параметры процесса резания, участвующие в расчетах:

$$\Theta(h) = (\Theta_1 l + \Theta_2 h) / (l + h) = [q_1(h)l(M_1 l + N_1 h) + q_2(h)h(M_2 h + N_1 l)] / (l + h)\lambda_u. \quad (1)$$

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; $M_{1,2}$, $N_{1,2}$ - безразмерные функции, определяющие нагрев контактных площадок на передней и задней поверхностях лезвия; λ_u - коэффициент теплопроводности материала лезвийного инструмента.

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 [2]:

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

где $K_1 = \frac{(1+c)\omega_\delta k b' q_\delta}{\lambda_\delta V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_\delta} \sqrt{\frac{\omega_\delta k l}{V}}; \quad K_2(h) = \frac{(1+c)\omega_\delta k b' q_\delta T_\delta}{\lambda_\delta V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_\delta} \sqrt{\frac{\omega_\delta h}{V}};$

$K_3(h) = 1,82 K_{c2} \sqrt{\omega_\delta h / V} / \lambda_\delta; \quad K_4 = 1,3 K_{c1} \sqrt{\omega_\delta k l / V} / \lambda_\delta + M_1 l / \lambda_u; \quad \lambda_\delta, \omega_\delta$ - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материала детали; c - коэффициент, учитывающий подогрев слоев металла стружки за один оборот детали; q_δ, 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_δ - 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 соответственно.

На основании установленных плотностей тепловых потоков (2) и температур резания (1) с учетом взаимосвязи всех параметров, входящих в формулу, с условиями обработки и износом, выполнен анализ влияния износа по задней поверхности h на закономерности формирования тепловых потоков q_1, q_2 и температур резания Θ .

Расчеты выполнялись для следующих условий: обрабатываемый материал - сталь 45; $\sigma_s = 750$ МПа; коэффициент усадки $k = 2,0$; параметры резцов Т15К6: главные и вспомогательные углы в плане $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; передний угол $\gamma = -7^\circ$; задний угол $\alpha = 7^\circ$; угол заострения $\beta = 90^\circ$. Глубина резания $t = 3$ мм.

Графики зависимости плотности тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия и температуры резания Θ от износа по задней поверхности h для различных условий обработки - скорости резания V и подачи S представлены на рис. 1.

В результате анализа расчетов и полученных графиков установлено:

- плотности тепловых потоков на передней поверхности лезвия q_1 в зависимости от износа h убывают, а на задней - возрастают;

- плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия с увеличением скорости резания и уменьшением подачи снижаются.

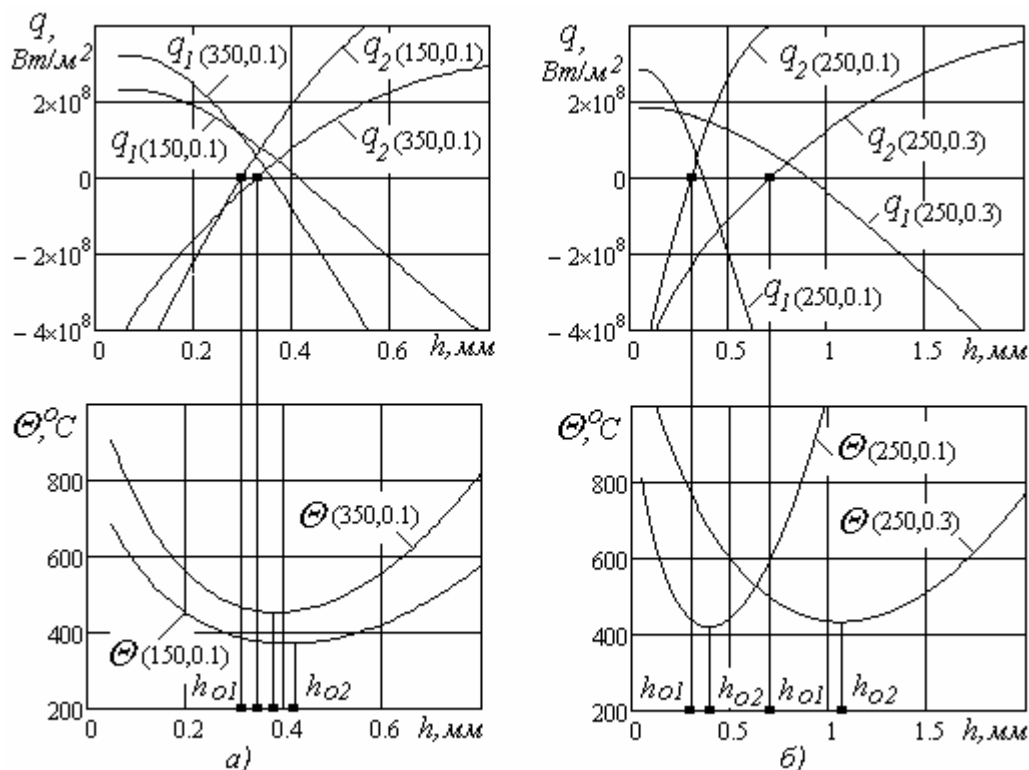


Рис. 1. Графики зависимостей плотностей тепловых потоков на передней q_1 и задней q_2 поверхностях лезвия и температур резания от износа по задней поверхности h

Отрицательное значение плотности теплового потока на задней поверхности лезвия ($q_2 < 0$) свидетельствует о направлении потока в сторону детали, что способствует охлаждению лезвия. В связи с этим температура резания существенно снижается. Минимальное значение температуры, которое может быть достигнуто в определенной мере коррелируется с достижением плотности теплового потока на задней поверхности нулевого уровня ($q_2 = 0$). При постоянной подаче (рис.1а) скорость резания несущественно влияет на критическое значение износа h_o , при котором достигается наименьшая температура, но повышает уровень температур. При постоянной скорости резания (рис.1б) подача несущественно влияет на минимальный уровень температур, но существенно повышает критическое значение износа h_o , при котором достигается наименьшая температура.

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 возможному последующему катастрофическому износу.

Значение критического износа h_{o1} , при котором тепловой поток $q_2 = 0$, может быть определено из уравнения:

$$\frac{[K_1 q_d(h) + 1,42 K_2(h) q_{1T}(h) \sqrt{kl/h}] l N_1(h)}{[M_1 l / \lambda_u + 1,851,42 K_2(h) \sqrt{kl/h}] \lambda_u} = q_{2T}(h) [K_1 q_d(h) T_d(h) + K_2(h)]. \quad (3)$$

В результате численного решения уравнения (3) получены значения критического износа h_{o1} для различных режимов резания, представленных на рис. 2а, который обеспечивает отсутствие теплового потока на задней поверхности инструмента q_2 , плотность теплового потока $q_2 = 0$.

Достоинством указанного метода определения критического износа h_{o1} является возможность определения области, в которой наблюдается снижение температур, без расчетов самих тепловых потоков и температур. Это упрощает задачу прогнозирования предельных по температуре критериев затупления инструмента для различных условий его эксплуатации.

Однако отсутствие теплового потока на задней поверхности инструмента не обеспечивает минимальной температуры при значениях критического износа h_{o1} . Для критического значения износа h_{o2} , при котором достигается наименьшая температура, необходимо найти производную температуры резания $\partial \Theta(h) / \partial h$ и решить уравнение:

$$\frac{\partial [q_1(h) l (M_1 l + N_1 h) + q_2(h) h (M_2 h + N_1 l)] / (l + h) \lambda_u}{\partial h} = 0. \quad (4)$$

В результате численного решения этого уравнения получены значения критического износа h_{o2} для различных режимов резания, представленных на рис. 2б, которые обеспечивают минимальную в течение периода стойкости режущего инструмента температуру резания при постоянстве всех остальных параметров процесса резания. Установленные значения критического износа h_{o2} позволяют обосновать рациональные размеры фасок и уступов на задней поверхности лезвий инструментов, предлагаемых [1] для повышения их периода стойкости.

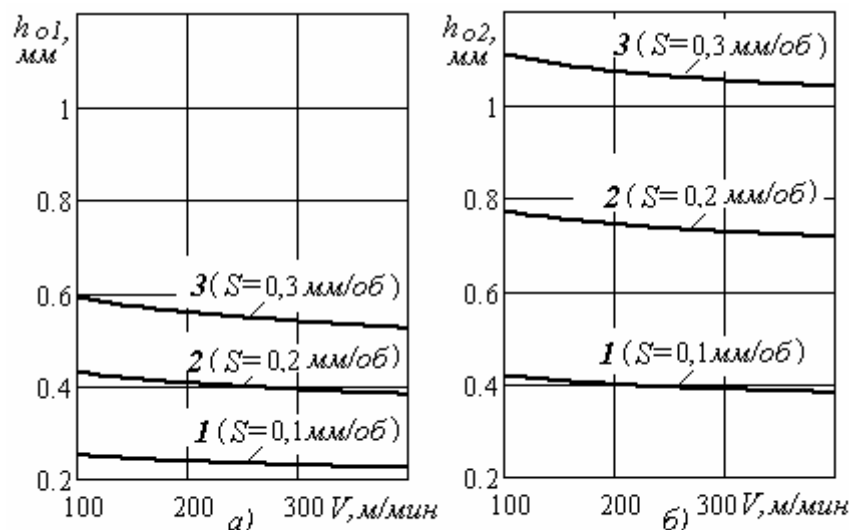


Рис. 2. Графики зависимостей критического износа h_o от скорости резания V для различных подач S , обеспечивающего нулевой тепловой поток по задней поверхности $q_2 = 0$ – а) и минимум температуры резания – б)

Графики, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что значения критических износов h_{o1} и h_{o2} при увеличении скорости резания снижаются и возрастают с ростом подачи. Значение критического износа h_{o2} , обеспечивающего минимум температур, почти в 2 раза превышает значения износа h_{o1} , обеспечивающего отсутствие теплового потока на задней поверхности.

Выводы

Установлены закономерности изменения тепловых потоков и температур резания в зависимости от износа режущего инструмента для различных условий обработки. Обоснован критерий износа, обеспечивающий минимальную температуру резания для токарной обработки конструкционных сталей твердосплавными резцами.

Разработанная методика определения температур резания с учетом закономерностей их изменения в связи с износом может быть использована для любых видов режущих инструментов.

Список литературы:

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. –288с.
2. Ивченко Т.Г., Смирнова М.А. Моделирование тепловых потоков в зоне резания в зависимости от износа режущего инструмента // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Вып. 35. – С.69 – 74.
3. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при тчении // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5. - Донецьк, ДонНТУ, 2008.- С.23-29.
4. Ивченко Т.Г. Анализ закономерностей изменения температурного поля режущего инструмента в процессе его эксплуатации // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2009. Вып. 37. – С.84 - 89.
5. Ивченко Т.Г. Исследование общих закономерностей изменения температуры резания в различных условиях обработки // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 6. - Донецьк, ДонНТУ, 2009.- С.49 -55.

Надійшла до редколегії 3.12.2014.

T.G. Ivchenko

CONFORMITIES TO LAW OF CHANGE OF CUTTING TEMPERATURES IN DEPENDENCE ON WEAR OF THE CUTTING TOOL FOR DIFFERENT TERMS OF TREATMENT

The method of determination of cutting temperatures taking into account conformities to the law of their change in the process of treatment is developed. 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 criterion of wear, providing the minimum of cutting temperature for treatments of constructions steel by hard alloy tools is grounded.

Key words: thermal stream, cutting temperature, wear.

Т.Г. Івченко

ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУР РІЗАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗНОСУ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ ОБРОБКИ

Розроблена методика визначення температур різання з урахуванням закономірностей їх зміни в процесі обробки. Встановлені загальні закономірності зміни температури різання залежно від зносу інструменту в процесі його експлуатації. Обґрунтований критерій зносу, що забезпечує мінімальну температуру різання для токарної обробки конструкційних сталей твердосплавними різцями.

Ключові слова: тепловий потік, температура різання, знос.