

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ

Ивченко Т.Г.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Введение

В теории и практике механической обработки материалов резанием весьма важную роль играют тепловые явления, оказывающие существенное влияние на работоспособность режущего инструмента, качество поверхностного слоя деталей и производительность обработки.

В настоящее время методы исследований теплового состояния режущего инструмента достаточно хорошо разработаны. Однако, известные методы определения температуры резания, как аналитические, так и экспериментальные [1, 2], весьма затруднительны для практического использования. Предложенная в работах [3, 4] методика аналитического расчета трехмерных температурных полей лезвия режущего инструмента, основанная на методе источников теплоты, учитывает одновременное действие источников теплоты на передней и задней поверхностях инструмента, что существенно повышает точность расчетов и сокращает их трудоемкость.

Необходимым условием для расчета температурных полей лезвия инструмента является определение тепловых потоков в зоне резания. В работах [5, 6] на основании анализа источников теплоты установлены основные закономерности формирования тепловых потоков при тчении и разработана методика их расчета, позволяющая значительно упростить известную ранее методику [1]. Разработанная методика может быть широко использована для прогнозирования закономерностей формирования тепловых потоков в зоне резания в зависимости от свойств обрабатываемого и инструментальных материалов, режимов резания, износа по задней поверхности лезвия. На основании разработанной методики расчета тепловых потоков установлены взаимосвязи плотностей тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента с износом по задней поверхности лезвия [5] в различных условиях черновой и чистовой токарной обработки. В работе [6] исследовано влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания, обоснованы и предложены для практического применения коэффициенты относительного изменения тепловых потоков в зависимости от прочности и коэффициента усадки стружки обрабатываемого материала; теплопроводности инструментального материала.

Однако сведения, представленные в этих работах, охватывают лишь вопросы формирования тепловых потоков в зоне резания и температурных полей в лезвии инструмента и не содержат информации об определении температуры резания, которая является наиболее распространенным показателем теплового состояния режущего инструмента, стружки и обрабатываемой детали. Теоретический и практический интерес представляют расчеты и исследование на основании этих сведений температур резания.

Целью работы является дальнейшее развитие методики аналитического определения температуры резания с учетом источников теплоты, действующих на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, а также установление общих закономерностей изменения температур резания в различных условиях механообработки.

Основное содержание работы

Температура резания определяется как средняя температура на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента:

$$\theta_P = (\theta_{Пер} S_{II} + \theta_{Зер} S_3) / (S_{II} + S_3), \quad (1)$$

где $\theta_{Пер}$, S_{II} – средняя температура на передней поверхности лезвия и площадь контакта передней поверхности лезвия со стружкой: $S_{II} = bl$ (b – ширина среза, l – длина контакта стружки с передней поверхностью); $\theta_{Зер}$, S_3 – средняя температура на задней поверхности лезвия и площадь контакта задней поверхности лезвия с обрабатываемой деталью: $S_3 = bh$ (h – износ по задней поверхности лезвия).

Трехмерное температурное поле, возникающее в лезвии инструмента под действием источников на его передней и задней поверхностях, с использованием перехода к безразмерным координатам описывается следующим образом [3]:

$$\theta(x, y, z) = P_1 T_1(\psi, \zeta, \nu) + P_2 T_2(\psi, \zeta, \nu), \quad (2)$$

где $P_1 = K_\beta q_1 l / 4\pi\lambda$, $P_2 = K_\beta q_2 l / 4\pi\lambda$ – размерные коэффициенты: K_β – коэффициент перехода от неограниченного пространства к неограниченному клину; q_1, q_2 – плотности тепловых потоков на передней и задней поверхностях лезвия; λ – коэффициент теплопроводности инструментального материала; $T_1(\psi, \zeta, \nu)$, $T_2(\psi, \zeta, \nu)$ – температурные поля, возникающие в лезвии режущего инструмента под влиянием источников, действующих на передней и задней поверхностях, в безразмерном виде: $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = z/l$, $\zeta_u = z_u/l$, $\nu = y/l$ – безразмерные координаты (x, y, z – координаты любой точки тела; x_u, y_u, z_u – координаты любой точки источника).

Температурные поля на передней $\theta_{II}(x, z)$ и задней $\theta_3(y, z)$ поверхностях лезвия, возникающие при одновременном действии двух рассматриваемых источников:

$$\theta_{II}(x, z) = P T_{II}(\psi, \zeta) = P [T_{II1}(\psi, \zeta) + \mu T_{II2}(\psi, \zeta)], \quad (3)$$

$$\theta_3(y, z) = P T_3(\nu, \zeta) = P [T_{31}(\nu, \zeta) + \mu T_{32}(\nu, \zeta)], \quad (4)$$

где $P = K_\beta q_1 l / 4\pi\lambda$ – общий размерный коэффициент;

$T_{II}(\psi, \zeta)$, $T_3(\nu, \zeta)$ – безразмерные температурные поля на передней и задней поверхностях;

$\mu = q_2/q_1$ – безразмерный коэффициент соотношения плотностей тепловых потоков на задней и передней поверхностях лезвия инструмента.

$T_{II1}(\psi, \zeta)$ – безразмерная температура на передней поверхности лезвия, возникающая под воздействием источника теплоты на передней поверхности

$$T_{II1}(\psi, \zeta) = \int_0^1 \left[\ln \left(\left| \zeta + \eta + \sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + (\zeta + \eta)^2} \right| \right) - \ln \left(\left| \zeta - \eta + \sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + (\zeta - \eta)^2} \right| \right) \right] d\psi_u.$$

$T_{II}(\psi, \zeta)$ - безразмерная температура на передней поверхности лезвия, возникающая под воздействием источника теплоты на задней поверхности

$$T_{II}(\psi, \zeta) = \int_0^{\chi} \left[\ln \left(\left| \zeta + \eta + \sqrt{\psi^2 + v_u^2 + (\zeta + \eta)^2} \right| \right) - \ln \left(\left| \zeta - \eta + \sqrt{\psi^2 + v_u^2 + (\zeta - \eta)^2} \right| \right) \right] dv_u.$$

$T_{31}(v, \zeta)$ - безразмерная температура на задней поверхности лезвия, возникающая под воздействием источника теплоты на задней поверхности

$$T_{31}(v, \zeta) = \int_0^{\chi} \left[\ln \left(\left| \zeta + \eta + \sqrt{(v - v_u)^2 + (\zeta + \eta)^2} \right| \right) - \ln \left(\left| \zeta - \eta + \sqrt{(v - v_u)^2 + (\zeta - \eta)^2} \right| \right) \right] dv_u.$$

$T_{32}(v, \zeta)$ - безразмерная температура на задней поверхности лезвия, возникающая под воздействием источника теплоты на передней поверхности

$$T_{32}(v, \zeta) = \int_0^1 \left[\ln \left(\left| \zeta + \eta + \sqrt{v^2 + \psi_u^2 + (\zeta + \eta)^2} \right| \right) - \ln \left(\left| \zeta - \eta + \sqrt{v^2 + \psi_u^2 + (\zeta - \eta)^2} \right| \right) \right] d\psi_u,$$

где $\eta = b/l$ - безразмерная ширина среза; $\chi = h/l$ - безразмерный износ.

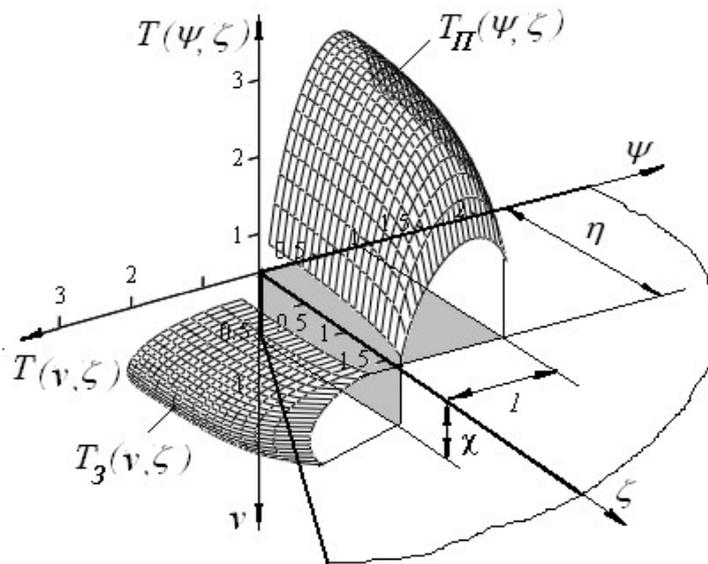


Рис. 1. Графики безразмерных распределений температур по передней и задней поверхностям лезвия режущего инструмента

температуры резания.

Средние безразмерные температуры на передней T_{IIcp} и задней T_{3cp} поверхностях лезвия, возникающие при одновременном действии двух рассматриваемых источников:

Графики распределений температур по передней и задней поверхностям лезвия в безразмерном виде, учитывающие одновременное действие двух рассматриваемых источников представлены на рис. 1.

Описание закона распределения температур в безразмерном виде позволяет устанавливать общие закономерности изменения температур, которые для каждого конкретного варианта обработки корректируются размерным коэффициентом P . Такое описание закона распределения температур позволяет устанавливать в безразмерном виде и общие закономерности изменения

$$T_{Пср} = \frac{1}{\eta} \int_0^{\chi} \int_0^{\eta} \psi \int_0^{\zeta} [T_{П1}(\psi, \zeta) + \mu T_{П2}(\psi, \zeta)] = \frac{1}{\eta} (T_{П1ср} + \mu T_{П2ср}); \quad (5)$$

$$T_{Зср} = \frac{1}{\eta \chi} \int_0^{\chi} \int_0^{\eta} \nu \int_0^{\zeta} [T_{З1}(\nu, \zeta) + \mu T_{З2}(\nu, \zeta)] = \frac{1}{\eta \chi} (T_{З1ср} + \mu T_{З2ср}), \quad (6)$$

где $T_{П1ср}$, $T_{П2ср}$, $T_{З1ср}$, $T_{З2ср}$ – средние безразмерные температуры на передней и задней поверхностях лезвия, возникающие от действия двух рассматриваемых источников.

На рис. 2 представлены графики зависимостей средних безразмерных температур на передней $T_{Пср}$ и задней $T_{Зср}$ поверхностях лезвия и их составляющих, а также безразмерного коэффициента соотношения плотностей тепловых потоков μ от безразмерного износа по задней поверхности χ (расчеты выполнены для $\eta = 3$).

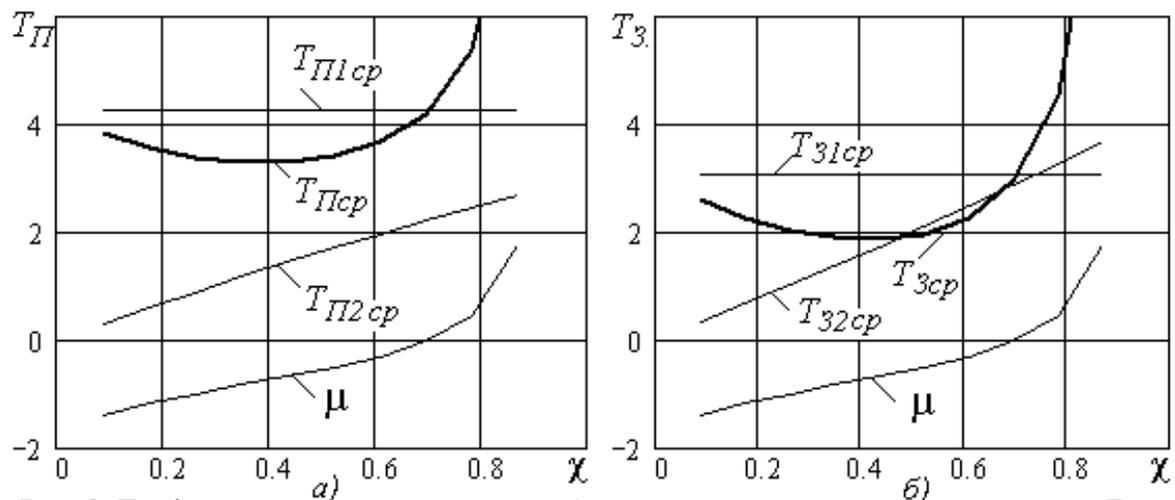


Рис. 2. Графики зависимостей средних безразмерных температур на передней $T_{Пср}$ – а)

и задней $T_{Зср}$ – б) поверхностях лезвия и их составляющих;

безразмерного коэффициента соотношения плотностей тепловых потоков μ от безразмерного износа по задней поверхности χ

Представленные графики позволяют выявить закономерности формирования средних температур на передней и задней поверхностях лезвия инструмента. Средняя безразмерная температура на передней поверхности $T_{П1ср}$, возникшая от действия источника на этой же поверхности имеет постоянное значение, не зависящее от износа.

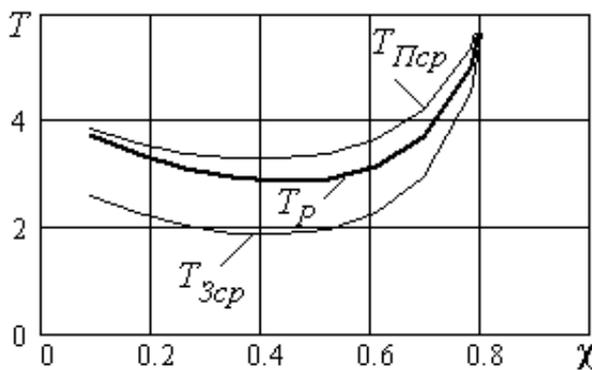


Рис. 3. 1 графики зависимостей безразмерной температуры резания T_p и ее составляющих

от безразмерного износа по задней

поверхности χ

Средняя безразмерная температура на передней поверхности $T_{П2ср}$, возникшая от действия источника на задней поверхности по мере износа возрастает. Отрицательное значение безразмерного коэффициента μ свидетельствует о направлении действия теплового потока по задней поверхности из инструмента в деталь, что способствует охлаждению инструмента [5] и приводит к снижению средней температуры на передней поверхности $T_{Пср}$

в сравнении с $T_{Псп}$ в зоне $\mu \leq 0$, а затем к ее резкому увеличению. Аналогично изменяется и средняя температура на задней поверхности лезвия, но ее уровень в сравнении со средней температурой на передней поверхности значительно ниже.

Безразмерная температура резания может быть определена следующим образом:

$$T_P = (T_{Псп} + T_{Зсп}\chi) / (1 + \chi). \quad (7)$$

На рис. 3 представлены графики зависимостей безразмерной температуры резания T_P и ее составляющих $T_{Псп}$, $T_{Зсп}$ от безразмерного износа по задней поверхности χ . Характер изменения безразмерной температуры резания от износа аналогичен изменению средних безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия.

Для обоснования характера изменения безразмерных температур в зависимости от износа выполнен анализ поведения производных безразмерной температуры резания T_P и ее составляющих, представленных на рис.4. Расчеты производных средних безразмерных температур на передней поверхности и безразмерного коэффициента μ - $\partial T_{П2} / \partial \chi$ и $\partial T_{Псп} / \partial \chi$, $\partial \mu / \partial \chi$ выполнены для $\eta = 3$. Расчеты производных безразмерных температур резания $\partial T_P / \partial \chi$ выполнены для разных значений η и μ : график 1 - $\eta = 3, \mu = -2,4$; график 2 - $\eta = 3, \mu = -1,8$; график 3 - $\eta = 1,5, \mu = -1,6$.

Рис.4. Графики зависимости производных безразмерной температуры резания - б) и ее составляющих - а) от безразмерного износа χ

Установлено, что производные средней безразмерной температуры на передней поверхности $\partial T_{Псп} / \partial \chi$ и безразмерной температуры резания $\partial T_P / \partial \chi$ при определенном значении безразмерного износа ($\chi \approx 0,4$) принимают нулевое значение, что объясняет характер изменения температур и подтверждает наличие экстремумов функций средних температур на передней и задней поверхностях лезвия и температуры резания. С уменьшением η и μ экстремум температуры резания достигается при меньших значениях безразмерного износа.

В работе выполнен анализ безразмерных температур резания при черновой ($\eta = 3, \mu = 2,4$) и чистовой ($\eta = 1,25, \mu = -1,7$) токарной обработке, представленных на рис. 5, а.

На рис. 5 также представлены графики зависимости фактической температуры резания Θ_P от износа по задней поверхности h для условий черновой (глубина $t = 5$ мм, подача $s = 0,5$ мм/об, скорость $V = 100$ м/мин) и чистовой (глубина $t = 1$ мм, подача $s =$

0,25мм/об, скорость $V = 200\text{м/мин}$) токарной обработки. В качестве примера исследованы условия обработки стали 30ХНЗ резцами с механическим креплением квадратных твердосплавных пластин Т5К10 и Т15К6 (угол в плане $\varphi = 45^\circ$, передний угол $\gamma = -7^\circ$).

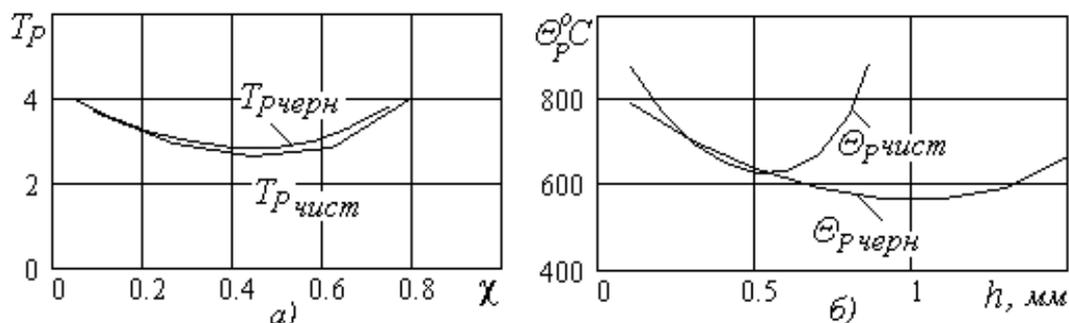


Рис.5. Графики зависимости безразмерной температуры резания T_p от безразмерного износа χ – а) и фактической температуры резания Θ_p от износа по задней поверхности h – б)

Графики зависимости безразмерной температуры резания T_p от безразмерного износа χ практически совпадают. Это позволяет сделать вывод о том, что общие закономерности изменения безразмерных температур для черновой и чистовой обработок идентичны. Фактические же температуры резания, рассчитанные с учетом размерных коэффициентов $P_1 = 240$ и $P_2 = 200$ существенно отличаются. Увеличение температуры резания для чистовой обработки начинается при значении износа $h = 0,5\text{мм}$, для черновой - при $h = 1\text{мм}$, что достаточно хорошо согласуется с рекомендуемыми критериями затупления резцов.

Для указанных условий обработки Даниэляном А.М [2] экспериментально установлена температура резания при чистовой обработке $\Theta_{\text{экс чист}} = 885^\circ\text{C}$, при черновой – $\Theta_{\text{экс черн}} = 800^\circ\text{C}$, что достаточно точно совпадает с результатами расчетов температур резания при незначительном износе ($h \leq 0,1\text{мм}$) и подтверждает возможность применения разработанной методики. С использованием разработанного программного обеспечения возможно выполнение указанных расчетов для любых условий эксплуатации режущего инструмента.

Заключение

С использованием методики аналитического расчета тепловых потоков и температурного поля лезвия режущего инструмента с учетом источников теплоты, действующих на его передней и задней поверхностях, установлены общие закономерности изменения температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации для черновой и чистовой токарной обработок.

Разработанная методика определения температур резания с учетом закономерностей их изменения в процессе обработки может быть широко использована для выбора рациональных условий обработки и температурных критериев затупления для любых видов режущих инструментов.

Список литературы: 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. 2. Даниэлян А.М. Теплота и

износ инструментов в процессе резания металлов. – М.: Машгиз, 1964. – 276 с. 3. Ивченко Т.Г. Совершенствование методики аналитического определения температуры резания // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2007. Вып. 33. – С. 103-110. 4. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей распределения температур на передней и задней поверхностях лезвия инструмента // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов XV международной конференции в г. Севастополе 17-22 сентября 2008 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2008. Т.2. – С. 43-46. 5. 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. 6. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при точении // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 5. – Донецьк, ДонНТУ, 2008. – С. 23-29.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ ОБРОБКИ

Івченко Т.Г.

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 для чорнової і чистової токарної обробок конструкційних сталей твердосплавними різцями.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ

Ивченко Т.Г.

Разработана методика определения температур резания с учетом закономерностей их изменения в процессе обработки. Установлены общие закономерности изменения температуры резания в зависимости от износа инструмента в процессе его эксплуатации для черновой и чистовой токарной обработок конструкционных сталей твердосплавными резцами.

RESEARCH OF GENERAL CONFORMITIES TO THE LAW OF CHANGE OF CUTTING TEMPERATURE UNDER VARIOUS CONDITIONS OF MACHINING

Ivchenko T.G.

The method of determination of cutting temperatures is developed taking into account conformities to the law of their change in the process of machining. 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 for rough and finish lathe machining of construction steel by hard alloy cutters.

Рецензент: д.т.н., проф. Матюха П.Г.