

3. Заключение

Проанализировав результаты расчета можно сделать следующие выводы:

1. Теплоотдача через юбку поршня (рис. 4) оказывает минимальное влияние на его тепловое состояние. Даже полное прекращение теплоотвода через юбку увеличивает температуры характерных точек только на 3-5К. Из этого следует, что применение функциональных покрытий любого состава на юбку поршня не приведет к неблагоприятным последствиям, связанным с температурой.

2. Уменьшение теплоотвода через второе кольцо (рис. 6) более существенно влияет на значение температуры характерных точек. Значения температуры изменяются в пределах 10-20К, более всего в зоне канавки второго кольца. Это может привести к процессу коксования смазочного масла и залеганию кольца. При использовании покрытий канавки второго кольца необходимо проверять его работоспособность.

3. Максимальное влияние на температурное состояние поршня оказывает теплоотвод через первое кольцо (рис. 5) или оба компрессионных кольца (рис. 7). При уменьшении теплоотвода температуры характерных точек существенно растут и превышают критические значения, при увеличении – существенно снижаются.

Список литературы: 1. Вершина Г.А., Якубенко Г.Я. Методическое пособие по курсам «Теория рабочих процессов ДВС» и «Динамика ДВС» для студентов специальности Т.05.10.00. -Мн.: ЗАО «Техноперспектива». - 2001. – 86 с. 2. Костин А.К., Ларионов В.А., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания. - Л.: - 1979. - 260 с. 3. Кавтадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. - М.: МГТУ. - 2002. – 380 с.

Сдано в редакцию 29.01.07

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

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

The developed method of analytical determination of the cutting tools temperature allows taking into account the simultaneous action of the warmth sources on the front and back surfaces of the tool blade. The improvement of cutting tools effective exploitation is made by substantiation of optimal cutting conditions.

Введение

Современные тенденции интенсификации процесса резания вследствие широкого внедрения новых конструкционных и инструментальных материалов, высокопроизводительного оборудования и оснастки, выдвигает принципиально новые требования к управлению технологическими системами. Функционирование технологических систем механообработки в значительной мере определяется тепловыми процессами при резании, оказывая существенное влияние на работоспособность режущего инструмента и качество деталей. Снижение температуры резания - наиболее эффективный путь повышения стойкости инструмента и качества обработанной поверхности. В связи с этим достаточно актуальна разработка методов управления тепловыми явлениями в зоне резания.

В настоящее время преимущественное внимание уделяется развитию теоретических методов исследования тепловых процессов. Одним из аналитических

методов решения тепловых задач при резании является метод источников теплоты [1], который характеризуется достаточной простотой и наглядностью в сравнении с другими аналитическими и численными методами и достаточно хорошо совпадает с результатами проведенных ранее многочисленных экспериментальных исследований [2]. С использованием этого метода выполнены исследования трехмерных температурных полей, позволяющие рассчитывать уровень температур, как на поверхностях, так и в середине тел, участвующих в теплообмене в зоне резания [3, 4]. Эти аналитические исследования температурных полей не охватывают вопросов расчета температуры резания.

Известные ранее методы определения температуры резания, как аналитические, так и экспериментальные [1, 2], весьма затруднительны для практического использования. Предложенная в работе [5] методика расчета температуры резания учитывает только действие источника теплоты на передней поверхности лезвия режущего инструмента, что обуславливает возможность ее применения для условий обработки острозаточенным инструментом, когда явления на задней поверхности не оказывают существенного влияния на процесс резания. Это весьма ограничивает область применения разработанной методики и требует ее дальнейшего совершенствования.

Целью представленной работы является разработка методики аналитического расчета температуры резания с учетом источников теплоты, действующих на передней и задней поверхностях лезвия сборного режущего инструмента.

Основное содержание и результаты работы

В основу предлагаемой методики определения суммарного температурного поля лезвия режущего инструмента $\Theta(x, y, z)$, возникающего под действием двух одновременно действующих тепловых источников, заложен принцип суперпозиции температурных полей, возникающих под действием каждого из них отдельно:

$$\Theta(x, y, z) = \Theta_1(x, y, z) + \Theta_2(x, y, z), \quad (1)$$

где $\Theta_1(x, y, z)$ - температурное поле, возникающее в лезвии режущего инструмента под влиянием источника, действующего на передней поверхности; $\Theta_2(x, y, z)$ - температурное поле, возникающее в лезвии режущего инструмента под влиянием источника, действующего на задней поверхности.

Такой подход позволяет использовать для описания температурного поля, возникающего под действием каждого отдельного источника, известные положения метода источников.

При схематизации компонентов исследуемой системы лезвийный инструмент рассматривается в виде неограниченного клина. Для сборного режущего инструмента с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин угол заострения β может быть принят $\beta = 90^\circ$.

Источники теплоты, возникающие на контактных площадках лезвия инструмента, представляются двумерным прямоугольным с равномерными распределениями плотностей тепловых потоков q_1 и q_2 – соответственно на передней и задней поверхностях.

Схема действия источников теплоты на лезвии режущего инструмента с квадратной пластиной представлена на рис. 1. Ось Z в рассматриваемой системе координат ориентируется в направлении главной режущей кромки; b – ширина среза; l – длина контактной площадки в направлении схода стружки; h – износ по задней поверхности.

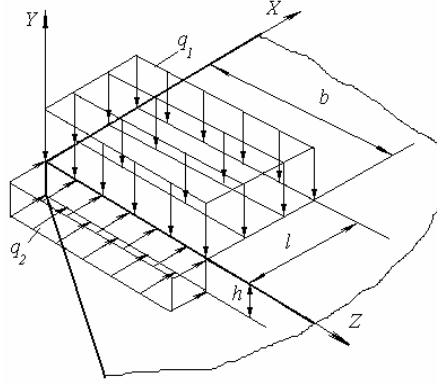


Рис. 1. Схема действия источников теплоты на передней и задней поверхностях лезвия режущего инструмента

Трехмерные температурные поля, возникающие в лезвии режущего инструмента под действием источников, действующих на его передней и задней поверхностях, описываются следующим образом:

$$\Theta_1(x, y, z) = \frac{K_\beta q_1 l}{4\pi\lambda} \int_0^l dx_u \int_{-0,5b}^{0,5b} \frac{dz_u}{\sqrt{(x-x_u)^2 + y^2 + (z-z_u)^2}}; \quad (2)$$

$$\Theta_2(x, y, z) = \frac{K_\beta q_2 h}{4\pi\lambda} \int_0^h dy_u \int_{-0,5b}^{0,5b} \frac{dz_u}{\sqrt{(z-z_u)^2 + z^2 + (y-y_u)^2}}, \quad (3)$$

где x, y, z – координаты любой точки тела $M(x, y, z)$; x_u, y_u, z_u – координаты места вспышки $J(x_u, y_u, z_u)$; λ – коэффициент теплопроводности инструментального материала; K_β – коэффициент перехода от неограниченного пространства к неограниченному клину: $K_\beta = 4$ для $\beta = 90^\circ$.

С использованием известного приема перехода к безразмерным координатам температурное поле в лезвии инструмента может быть представлено в следующем виде:

$$\Theta(x, y, z) = P_1 T_1(\psi, \eta, \zeta) + P_2 T_2(\psi, \eta, \zeta), \quad (4)$$

где $P_1 = K_\beta q_1 l / 4\pi\lambda$, $P_2 = K_\beta q_2 h / 4\pi\lambda$ – размерные коэффициенты; $T_1(\psi, \eta, \zeta)$, $T_2(\psi, \eta, \zeta)$ – законы распределения температур в безразмерном виде:

$$T_1(\psi, \eta, \zeta) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + \eta^2 + (\zeta - \zeta_u)^2}}; \quad (5)$$

$$T_2(\psi, \eta, \zeta) = \int_0^{\chi} d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta - \zeta_u)^2 + \psi^2 + (\eta - \eta_u)^2}}, \quad (6)$$

где $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = z/l$, $\zeta_u = z_u/l$, $\eta = y/l$ – безразмерные координаты; $\alpha = 0,5b/l$ – безразмерная ширина среза; $\chi = h/l$ – безразмерный износ по задней поверхности.

Такое описание закона распределения температур в безразмерном виде $T(\psi, \eta, \zeta)$ позволяет устанавливать общие закономерности изменения температуры, которые для каждого конкретного варианта обработки корректируются размерными коэффициентами P . Закономерности двумерного распределения безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия для каждого из двух рассматриваемых источников могут быть получены из формул (5) и (6) и описываются следующим образом:

$$T_1(\psi, \zeta) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + (\zeta - \zeta_u)^2}}; T_1(\eta, \zeta) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta - \zeta_u)^2 + \eta^2 + \psi_u^2}}. \quad (7)$$

$$T_2(\psi, \zeta) = \int_0^{\chi} d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta - \zeta_u)^2 + \psi^2 + \eta_u^2}}; T_2(\eta, \zeta) = \int_0^{\chi} d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta - \zeta_u)^2 + (\eta - \eta_u)^2}}. \quad (8)$$

На рис. 2 представлены распределения безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, возникающие под воздействием двух различных источников теплоты (предполагается, что $\chi = 1, \alpha = 1$).

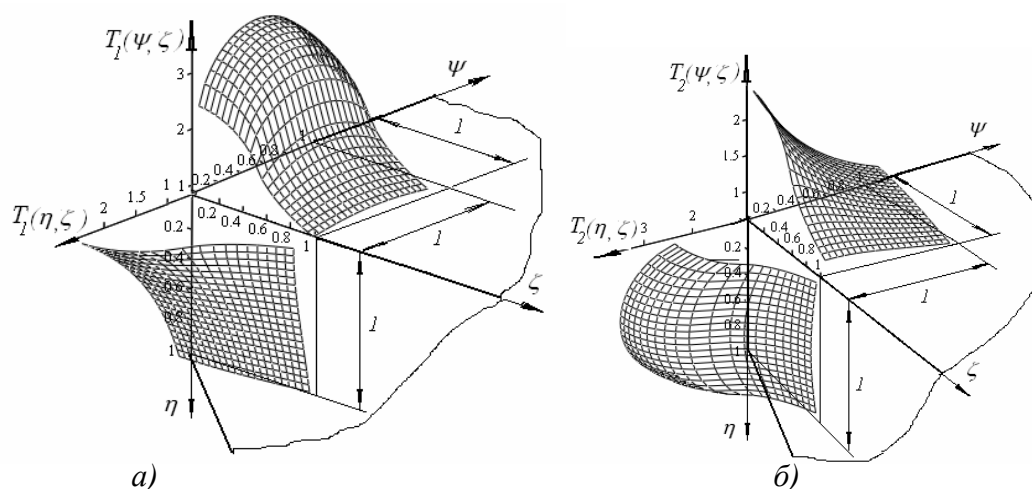


Рис. 2. Распределения безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия инструмента, возникающие под влиянием источников теплоты, действующих на его передней - а) и задней - б) поверхностях

Закономерности одномерного распределения безразмерных температур на передней и задней поверхностях лезвия в направлении, перпендикулярном к главной режущей кромке, для каждого из двух рассматриваемых источников могут быть получены из формул (7) и (8) и описываются следующим образом:

$$T_1(\psi) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + \zeta_u^2}}; T_1(\eta) = \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\psi_u^2 + \eta^2 + \zeta_u^2}}. \quad (9)$$

$$T_2(\psi) = \int_0^{\chi} d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + \psi^2 + \eta_u^2}}; T_2(\eta) = \int_0^{\chi} d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + (\eta - \eta_u)^2}}. \quad (10)$$

Средние температуры на передней и задней поверхностях лезвия на основании (9) и (10) определяются как:

$$\Theta_{1cp \text{ пер}} = \frac{1}{l} \int_0^l P_1 T_1(\psi) dx = P_1 \int_0^1 T_1(\psi) d\psi; \quad \Theta_{1cp \text{ зад}} = \frac{1}{h} \int_0^h P_1 T_1(\eta) dy = P_1 \frac{1}{\chi} \int_0^\chi T_1(\eta) d\eta. \quad (11)$$

$$\Theta_{2cp \text{ пер}} = \frac{1}{l} \int_0^l P_2 T_2(\psi) dx = P_2 \int_0^1 T_2(\psi) d\psi; \quad \Theta_{2cp \text{ зад}} = \frac{1}{h} \int_0^h P_2 T_2(\eta) dy = P_2 \frac{1}{\chi} \int_0^\chi T_2(\eta) d\eta. \quad (12)$$

Известно, что средняя температура лезвия инструмента при известных средних температурах на передней и задней поверхностях равна:

$$\Theta_{cp} = \left(\Theta_{cp \text{ пер}} l + \Theta_{cp \text{ зад}} h \right) / (l + h). \quad (13)$$

В результате с учетом (11), (12) и (13) могут быть рассчитаны средние температуры лезвия, возникающие под влиянием каждого из двух источников, действующих по передней и задней поверхностям:

$$\Theta_{1cp} = P_1 \left(\int_0^1 T_1(\psi) d\psi + \frac{\chi}{0} \int_0^\chi T_1(\eta) d\eta \right) / (1 + \chi) = P_1 T_{1cp}; \quad (14)$$

$$\Theta_{2cp} = P_2 \left(\int_0^1 T_2(\psi) d\psi + \frac{\chi}{0} \int_0^\chi T_2(\eta) d\eta \right) / (1 + \chi) = P_2 T_{2cp}, \quad (15)$$

где T_{1cp} и T_{2cp} - средние безразмерные температуры, возникающие от действия источников на передней и задней поверхностях резания соответственно:

$$T_{1cp} = \frac{1}{(1 + \chi)} \left[\int_0^1 d\psi \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + \zeta_u^2}} + \frac{\chi}{0} \int_0^\chi d\eta \int_0^\chi d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\psi_u^2 + \eta^2 + \zeta_u^2}} \right]; \quad (16)$$

$$T_{2cp} = \frac{1}{(1 + \chi)} \left[\int_0^1 d\psi \int_0^\chi d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + \psi^2 + \eta_u^2}} + \frac{\chi}{0} \int_0^\chi d\eta \int_0^\chi d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + (\eta - \eta_u)^2}} \right]. \quad (17)$$

Из представленных зависимостей следует, что средние безразмерные температуры на передней и задней поверхностях лезвия зависят только от безразмерного износа по задней поверхности $\chi = h/l$ и безразмерного сечения среза $\alpha = 0,5b/l$. С использованием численных методов интегрирования выполнен анализ влияния α и χ на средние безразмерные температуры, возникающих под действием источников на передней - T_{1cp} и задней - T_{2cp} поверхностях лезвия. Графики зависимости T_{1cp} и T_{2cp} от α и χ представлены на рис. 3.

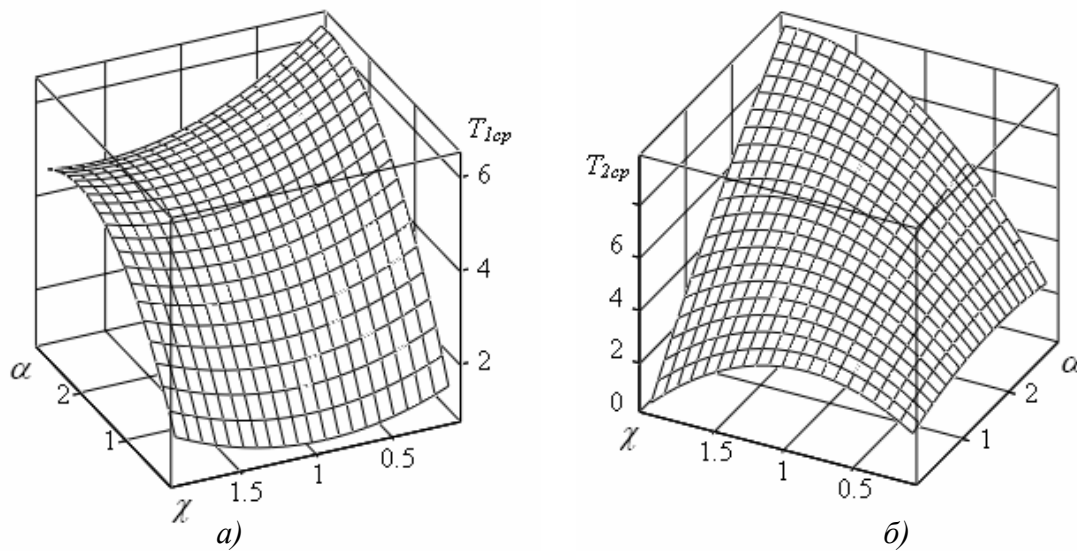


Рис. 3. Графики зависимости средних безразмерных температур, возникающих под действием источников на передней T_{1cp} - а) и задней T_{2cp} - б) поверхностях лезвия, от безразмерных сечений среза α и износа по задней поверхности χ

В результате исследования двухпараметрических зависимостей $T_{1cp}(\alpha, \chi)$ и $T_{2cp}(\alpha, \chi)$ с использованием множественного регрессионного анализа как наиболее точные (погрешность до 5%) установлены полиномиальные модели второго порядка

$$T_{1cp2}(\alpha, \chi) = 1,24 + 0,82\chi^2 - 1,47\chi - 0,39\alpha\chi + 3,93\alpha - 0,72\alpha^2. \quad (18)$$

$$T_{2cp2}(\alpha, \chi) = 1,57\alpha\chi - 2,18\chi^2 + 3,64\chi - 0,57 + 0,83\alpha - 0,26\alpha^2. \quad (19)$$

Однако в области наиболее распространенных значений $\alpha \leq 2$ и $\chi \leq 1$ целесообразно за счет линейаризации функций и использования линейного регрессионного анализа установить (с погрешностью, не превышающей 10%) степенные зависимости средних безразмерных температур T_{1cp} и T_{2cp} от α и χ , представленные на рис.4:

$$T_{1cp3}(\alpha, \chi) = 3,31\alpha^{0,58}\chi^{-0,12}; \quad T_{2cp}(\alpha, \chi) = 3,4\alpha^{0,56}\chi^{-0,9}. \quad (20)$$

На основании вышеизложенного температура резания рассчитывается как суммарная средняя на передней и задней поверхностях лезвия инструмента с учетом одновременного действия двух источников:

$$\Theta_P = \Theta_{1cp} + \Theta_{2cp} = P_1 T_{1cp} + P_2 T_{2cp} = \frac{K_{\beta} l}{4\pi\lambda} [q_1 T_{1cp}(\alpha, \chi) + q_2 T_{2cp}(\alpha, \chi)]. \quad (21)$$

Для условий обработки острозаточенным инструментом, когда явления на задней поверхности не оказывают существенного влияния на процесс резания, указанные зависимости упрощаются. При этом считается, что как тепловой поток, так и износ на задней поверхности отсутствуют. Тогда средняя безразмерная температура $T_{1cp}(\alpha)$ и температура резания могут быть представлены однопараметрическими зависимостями:

$$T_{1cp}(\alpha) = 4,3\alpha^{0,5}; \Theta_P(\alpha) = q_1 l K_\beta T_{1cp}(\alpha) / 4\pi\lambda. \quad (22)$$

При известных значениях плотностей тепловых потоков q_1 и q_2 , методика определения которых подробно изложена в [1, 6], может быть достаточно просто с использованием формул (21, 22) рассчитана температура резания.

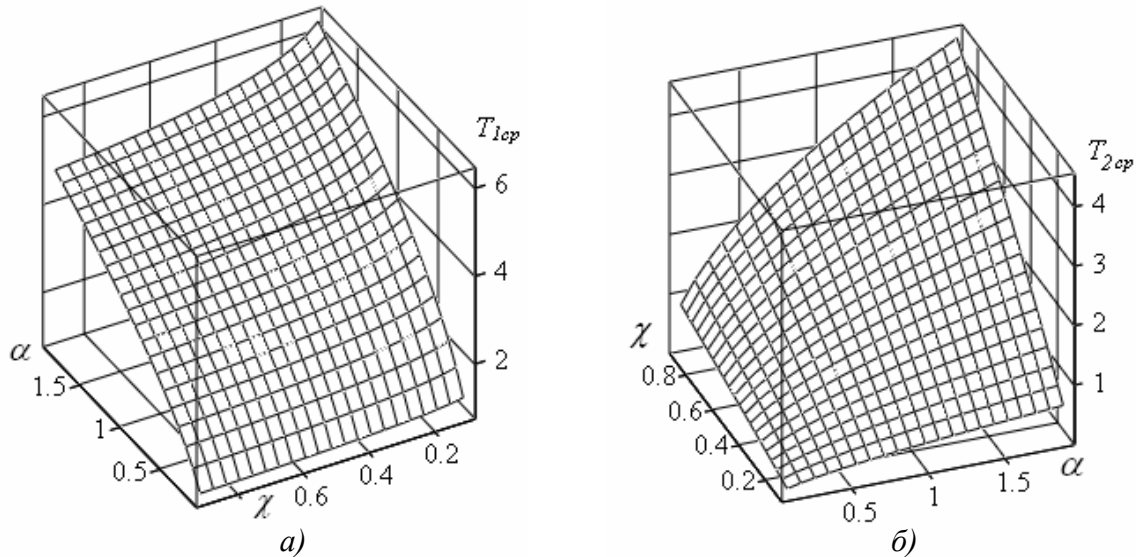


Рис. 4. Графики степенной зависимости средних безразмерных температур, возникающих под действием источников на передней T_{1cp} - а) и задней T_{2cp} - б) поверхностях лезвия от безразмерных сечений среза α и износа по задней поверхности χ

Проверка разработанной методики аналитического определения температуры резания выполнена на основании сравнения известных экспериментальных исследований [2] с результатами расчетов для одних и тех же условий эксплуатации. Графики теоретических и экспериментальных зависимостей температуры резания Θ_P от режимов резания - скорости резания V и подачи s представлены на рис. 5.

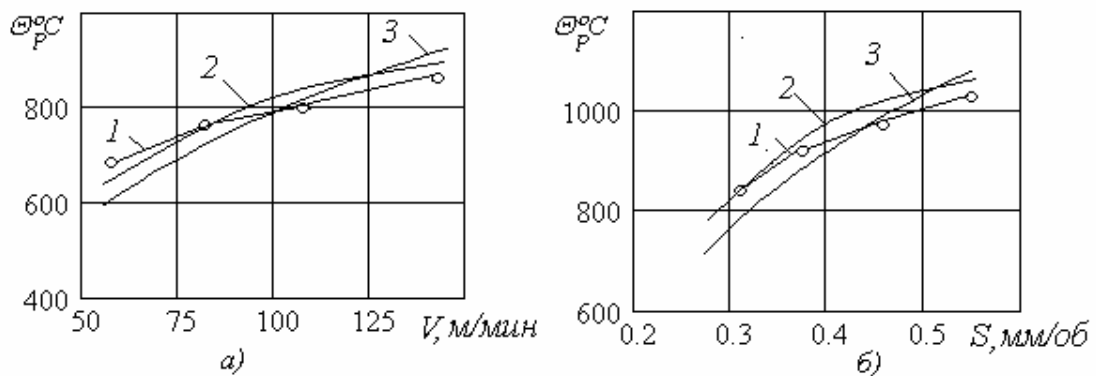


Рис. 5. Сравнение экспериментальных - 1 и теоретических 2, 3 значений температуры резания Θ_P для различных режимов - скорости резания V - а) и подачи S - б)

Исследованные условия: обработка стали 45 твердосплавными резцами Т15К6 (геометрические параметры: главный угол в плане $\varphi = 45^\circ$, передний угол $\gamma = -5^\circ$);

режимы резания - глубина резания $t = 1\text{ мм}$, подача $s = 0,2\text{ мм/об}$, скорость резания $V = 200\text{ м/мин}$; допустимый износ по задней поверхности $h = 0,4\text{ мм}$.

Расчеты температур, представленные графиками 2, выполнены в соответствии с формулой (21) с учетом одновременного действия двух источников на передней и задней поверхностях лезвия инструмента. Расчеты температур, представленные графиками 3, выполнены с учетом действия только источника на передней поверхности по формуле (22). Результаты расчета температур по усовершенствованной методике (график 2) в большей степени приближаются к экспериментальным данным (график 1). Максимальная погрешность не превышает 10%, что указывает на возможность использования разработанной методики для оценки температуры резания для различных условий эксплуатации.

Заключение

На основании представления законов распределения температур в безразмерном виде установлены общие закономерности изменения температуры, как на поверхностях, так и внутри лезвия сборного режущего инструмента, которые для каждого конкретного варианта обработки корректируются размерными коэффициентами.

В результате проведенных исследований усовершенствована методика аналитического расчета температуры резания с учетом источников теплоты, действующих на передней и задней поверхностях лезвия сборного режущего инструмента, позволяющая определять температуру резания для любых значений износа на протяжении всего периода стойкости инструмента при любых параметрах процесса резания.

Разработанная методика быть широко использована для прогнозирования закономерностей формирования температур в зоне резания в зависимости от свойств инструментальных материалов, геометрических параметров инструментов, режимов резания, а также выбора рациональных условий эксплуатации для любых видов режущих инструментов.

Список литературы: 1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. –288с. 2. Даниэлян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. – М.: Машгиз, 1964. – 276с. 3. Ivchenko T. Research of temperatures on a forward surface of the cutting tools edge // Meridian ingineresc: Organ al Universitatii Tehnice a Moldovei. Si asociatei inginerilor din Moldova. - Chisinau: Universitates Tecnica a Moldovei, Editura “ Tecnica – info”, 2002. - P.137-139. 4. Tatjana Ivchenko. Research of thermal processes and control of temperature of cutting at exploitation of a modular cutting tool // Proceedings of the 4-th international conference on advanced manufacturing technologies ICAMAT 2005. Bucuresti: Editura Academiei Romane; 2005. – P.507-512. 5. Івченко Т.Г. Аналітичне визначення температури різання в залежності від умов експлуатації ріжучого інструменту // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 92. - Донецьк, ДонНТУ, 2005.- С.37-42. 6. Івченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков зоне резания при точении // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.20. – Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.88-94.

Сдано в редакцию 2.02.07