

УДК 621.923

Ф.В. НОВИКОВ, В.И. ПОЛЯНСКИЙ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ

Наведено аналітичні залежності для визначення температури різання при лезовій обробці на основі встановлення балансу тепла, яке надходить в оброблювану деталь, стружку, що утворюється, та в ріжучий інструмент, від дії теплових джерел, які виникають в умовній площині зсуву матеріалу та в зоні тертя стружки, що утворюється, з передньою поверхнею різця. Теоретично доведено, що тепло, яке утворюється в процесі тертя на передній поверхні різця, йде в основному в стружку, в різець йде значно менша кількість тепла. Обґрунтовано умови зменшення температури різання, які полягають головним чином в зменшенні умовного напруження різання та в збільшенні умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу.

Ключові слова: температура різання, лезова обробка, оброблювальна деталь, різець, стружка, баланс тепла, теплове джерело, умовне напруження різання.

Приведены аналитические зависимости для определения температуры резания при лезвийной обработке на основе установления баланса тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, образующуюся стружку и режущий инструмент, от действия тепловых источников, возникающих в условной плоскости сдвига материала и в зоне трения образующейся стружки с передней поверхностью резца. Теоретически доказано, что образующееся в процессе трения на передней поверхности резца тепло уходит в основном в стружку, в резец уходит значительно меньше количество тепла. Обоснованы условия уменьшения температуры резания, состоящие главным образом в уменьшении условного напряжения резания и увеличении условного угла сдвига обрабатываемого материала.

Ключевые слова: температура резания, лезвийная обработка, обрабатываемая деталь, резец, стружка, баланс тепла, тепловой источник, условное напряжение резания.

Analytical dependence for determining the temperature at the cutting edge cutting processing by establishing the heat balance, leaving the workpiece, the resulting chips and cutting tools, the action of heat sources, resulting in a conditional shear plane of the material and the friction zone formed chip from the front surface of the tool. Theoretically, it is proved that the resulting process on the front surface friction heat cutter away chip mainly in the cutter takes much less heat. Substantiated conditions reduce the cutting temperature, consisting mainly in the reduction of conditional cutting stress and increase conditional shift angle of the processed material.

Keywords: cutting the temperature of the blade machining, the workpiece, the tool, chips, heat balance, heat source, a conditional power cut.

Постановка проблеми. В настоящее время на машиностроительных предприятиях Украины широко используются импортные режущие инструменты и технологии металлообработки, позволяющие существенно повысить производительность, точность и качество обработки изделий. Однако, в связи с их высокой стоимостью себестоимость обработки может превышать уровень, достигнутый при использовании традиционных технологий металлообработки. Поэтому для их эффективного использования необходимо знать новые подходы к назначению оптимальных режимов резания, позволяющих снизить силовую и тепловую напряженность процесса резания и повысить технико-экономические показатели обработки. В первую очередь это относится к снижению температуры резания, которая определяет стойкость инструмента, производительность и качество обработки и требует аналитического описания, анализа и выявления условий ее уменьшения.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам аналитического определения температуры резания при лезвийной обработке посвящены работы [1-5], в которых предложены различные теоретические решения. Однако они требуют достаточно сложных расчетов температуры резания с привлечением ряда экспериментальных данных, которые невозможно установить аналитически. Поэтому настоящая работа является дальнейшим развитием работ [6-8], в которых приведены результаты теоретического определения и анализа температуры резания при лезвийной обработке на основе упрощенных расчетов с учетом баланса тепла, образующегося в процессе ре-

зания и уходящего в обрабатываемую деталь, стружку и режущий инструмент.

Цель работы – аналитическое определение температуры резания при лезвийной обработке и обоснование условий ее уменьшения.

Изложение основного материала. При точении острозаточенным резцом тепло в зоне резания образуется в основном вследствие сдвиговых деформаций в условной плоскости сдвига материала ОА (рис. 1) и трения сходящей стружки с передней поверхностью резца. Поэтому температура резания будет определяться суммой температур, возникающих в условной плоскости сдвига материала ОА и в зоне трения сходящей стружки с передней поверхностью резца.

Если рассматривать срезаемый слой обрабатываемого материала толщиной в виде пакета бесконечно тонких адиабатических стержней, расположенных перпендикулярно вектору скорости резания, то срез адиабатического стержня I начинается в точке А и оканчивается в точке О. Скорость перерезания адиабатического стержня резцом равна $V_{рез} = V \cdot \operatorname{tg} \beta$, где V - скорость резания, м/с; β - условный угол сдвига обрабатываемого материала.

За время перемещения адиабатического стержня из положения А' в положение О, происходит его нагревание от 0 до максимального значения θ , определяемого интенсивностью сдвиговых деформаций в условной плоскости сдвига материала ОА. Окончательное перерезание адиабатического стержня в точке О приводит к его последующему трению вдоль передней и задней поверхностей резца и дополни-

тельному нагреванию.

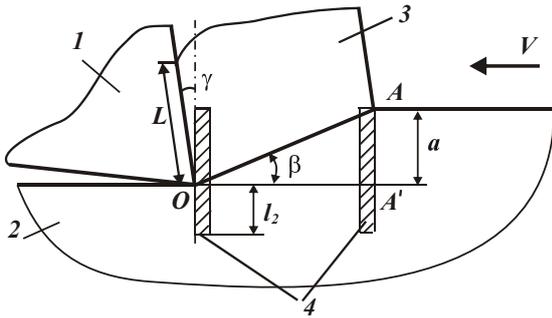


Рис. 1 – Расчетная схема процесса точения: 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующая стружка; 4 – адиабатический стержень.

При резании острозаточенным резцом можно ограничиться рассмотрением нагревания адиабатического стержня при его перемещении из положения А в положение О и последующем трении с передней поверхностью резца, не рассматривая нагревание от трения с задней поверхностью резца.

Как известно, основная часть тепла, образующаяся вследствие трения стружки с передней поверхностью резца, уходит в стружку. Поэтому тепло, уходящее в резец, в первом приближении учитывать не будем. Тогда температура нагревания контактной поверхности стружки за время ее трения с передней поверхностью резца определится [6]:

$$\theta = \frac{q \cdot l_{cmp}}{\lambda}, \quad (1)$$

где $q = \frac{P_y \cdot V_{cmp}}{F}$ – плотность теплового потока, действующего на передней поверхности резца, Вт/м²;

$P_y = \frac{P_z}{K_{рез}}$ – радиальная составляющая силы резания, Н;

Н;

P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

$K_{рез}$ – коэффициент резания (при точении $K_{рез} > 1$);

$V_{cmp} = V \cdot \text{tg} \beta$ – скорость перемещения образующейся стружки вдоль передней поверхности резца, м/с;

$F = \epsilon \cdot L$ – площадь контакта стружки с передней поверхностью резца, м²;

ϵ – ширина стружки, м;

L – длина контакта стружки с передней поверхностью резца, м;

$l_{cmp} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau$ – глубина проникновения тепла в образующуюся стружку, м;

λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/м·К;

c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К);

ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³;

$\tau = \frac{L}{V_{cmp}} = \frac{L}{V \cdot \text{tg} \beta}$ – время контакта фиксированной

точки на поверхности стружки с передней поверхностью резца, с.

Зависимость (1) получена на основе закона теплопроводности, рассматривая нулевым значение температуры на некотором удалении l_{cmp} от контактной поверхности стружки (действия теплового источника плотностью q).

Согласно зависимости (1), уменьшить температуру θ можно уменьшением параметров q и l_{cmp} .

С учетом известного соотношения $P_z = \sigma \cdot a \cdot \epsilon$ [7], имеем

$$\theta = \frac{\sigma \cdot V \cdot \text{tg} \beta}{\lambda \cdot K_{рез}} \cdot \frac{a}{L} \cdot l_{cmp}; \quad (2)$$

$$l_{cmp} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{L}{V \cdot \text{tg} \beta}}, \quad (3)$$

где σ – условное напряжение резания (энергоёмкость обработки), Н/м²;

a – толщина среза, м.

После преобразований зависимости (2) получено:

$$\theta = \frac{\sigma \cdot a}{K_{рез}} \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V \cdot \text{tg} \beta}{L}}. \quad (4)$$

С учетом известного соотношения $K_{рез} = \text{tg} 2\beta$ [7] и тригонометрического преобразования

$\text{tg} 2\beta = \frac{2 \cdot \text{tg} \beta}{1 - \text{tg}^2 \beta}$ зависимость (4) примет вид:

$$\theta = \sigma \cdot a \cdot (1 - \text{tg}^2 \beta) \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V}{L \cdot \text{tg} \beta}}. \quad (5)$$

Из зависимости (5) следует, что наибольшее влияние на температуру θ оказывает условное напряжение резания σ . Толщина среза a связана с длиной контакта стружки с передней поверхностью резца L : чем больше a , тем больше L . Поэтому с увеличением a температура θ будет увеличиваться, однако с меньшей интенсивностью, чем от увеличения σ .

С увеличением условного угла сдвига обрабатываемого материала β температура θ однозначно уменьшается. С учетом формулы Зворыкина К.А. [5]: $\beta = 45^\circ + (\gamma - \psi)/2$ функция $\text{tg} \beta = \text{tg} [45^\circ + (\gamma - \psi)/2]$, где γ – передний угол инструмента; ψ – условный угол трения образующейся стружки с передней поверхностью резца ($\text{tg} \psi = f$ – коэффициент трения).

Следовательно, чем больше угол γ и меньше угол ψ , тем меньше температура θ .

Вполне однозначное влияние на температуру θ оказывает скорость резания V : чем больше V , тем больше θ , что согласуется с известными экспериментальными данными.

Согласно зависимости (3), увеличение скорости резания V приводит к уменьшению параметра l_{cmp} , что в определенной степени снижает интенсивность роста температуры θ с увеличением скорости резания V . Увеличение условного угла сдвига обрабатываемого материала β за счет увеличения угла γ и уменьшения угла ψ также способствует уменьшению параметра l_{cmp} и соответственно температуры θ .

Произведем расчет температуры θ при точении для следующих исходных данных [5]: обрабатываемый материал – титановый сплав ВТ1: $\lambda = 13,45$ Дж/(м·с·град.); $c \cdot \rho = 2,74 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град.); продольная подача $S = 0,47$ мм/об.; глубина резания $t = 2,5$ мм; $V = 20$ м/мин; главный угол резца в плане $\varphi = 70^\circ$. Толщина среза равна $a = S \cdot \sin \varphi = 0,472$ мм.

Экспериментально установлено, что для рассматриваемых условий обработки условное напряжение резания $\sigma = 1489,36$ Н/мм², условный угол сдвига обрабатываемого материала $\beta = 36^\circ$, $L \approx 4 \cdot a$ [5]. Подставляя эти исходные данные в зависимость (5), получено: $\theta = 257,7^\circ\text{C}$.

Параметр l_{cmp} , определяемый зависимостью (3), для этих исходных данных равен: $l_{cmp} = 0,277$ мм, т.е. он меньше толщины среза $a = S \cdot \sin \varphi = 0,472$ мм и соответственно толщины образующейся стружки.

Используя зависимость (1) можно определить температуру, возникающую на передней поверхности резца при условии, что все тепло, образующееся вследствие трения стружки с передней поверхностью резца из твердого сплава ВК6М, уходит в его тело ($\lambda_{резца} = 50,2$ Вт/м·К). В данном случае в качестве параметра l_{cmp} следует условно рассматривать толщину режущей части резца, равную $H = 15$ мм, тогда зависимость (1) примет вид:

$$\theta = \frac{q \cdot H}{\lambda_{резца}}, \quad (6)$$

$$\text{где } q = \frac{\sigma \cdot V}{8} \cdot (1 - tg^2 \beta).$$

Подставляя в зависимость (6) исходные данные, расчетами установлено: $\theta = 8790$ К = 9063°C . Это значение температуры значительно больше значения температуры $\theta = 257,7^\circ\text{C}$, рассчитанного по зависимости (5). Следовательно, при расчете температуры по зависимости (6) необходимо принимать меньшие значения плотности теплового потока q , например $0,0284 \cdot q$, тогда значения температур, рассчитанных по зависимостям (5) и (6), будут одинаковы. Из этого

можно сделать вывод о том, что в тело резца уходит значительно меньше тепла (2,84 %), чем в образующуюся стружку, т.е. основная часть тепла (97,16 %) уходит в образующуюся стружку. Поэтому расчет температуры θ , возникающей на передней поверхности резца, вследствие ее трения с образующейся стружкой, с достаточной для практики точностью можно производить по зависимости (5).

Для более точного расчета температуры θ необходимо установить плотности тепловых потоков q_1 и q_2 , которые определяют максимальные температуры

$$\text{резца } \theta_1 = \frac{q_1 \cdot H}{\lambda_{резца}} \text{ и стружки } \theta_2 = \frac{q_2 \cdot l_{cmp}}{\lambda}.$$

С учетом соотношения $q = q_1 + q_2$ и условия $\theta_1 = \theta_2$ получено уравнение:

$$(q - q_2) \cdot \frac{H}{\lambda_{резца}} = \frac{q_2 \cdot l_{cmp}}{\lambda}. \quad (7)$$

Откуда

$$q_2 = \frac{q}{\left(1 + \frac{l_{cmp}}{H} \cdot \frac{\lambda_{резца}}{\lambda}\right)}. \quad (8)$$

Очевидно, вследствие того, что $H > l_{cmp}$, знаменатель зависимости (8) принимает значения, близкие к единице, а параметр q_2 - значения, близкие к плотности теплового потока q , действующего на передней поверхности резца. Следовательно, основная часть тепла уходит в образующуюся стружку, что согласуется с известными экспериментальными данными. Температура $\theta \approx \theta_2$ определяется зависимостью:

$$\theta = \frac{q \cdot l_{cmp}}{\lambda \cdot \left(1 + \frac{l_{cmp}}{H} \cdot \frac{\lambda_{резца}}{\lambda}\right)}. \quad (9)$$

Как видно, температура θ , рассчитанная по зависимости (9), будет меньше температуры, рассчитанной по зависимостям (1) и (5), вследствие того, что небольшая часть тепла уходит в резец, а это уменьшает количество тепла, уходящего в стружку.

Для определения температуры, возникающей в условной плоскости сдвига материала ОА (рис. 1) в связи с его сдвиговыми деформациями, установим баланс тепла, уходящего в образующуюся стружку и в обрабатываемую деталь, с учетом равенства работы резания $A = P_z \cdot l$ и количества тепла, затрачиваемого на их нагревание до максимальной температуры θ [6-8]:

$$P_z \cdot l = 0,5 \cdot c \cdot m_{dem} \cdot \theta + k \cdot c \cdot m_{cmp} \cdot \theta, \quad (10)$$

где l – длина пути резания, м;

m_{dem} , m_{cmp} – соответственно нагретые массы поверхностного слоя обрабатываемой детали толщиной l_2 и образующейся стружки, кг;

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho}} \cdot \tau - \text{глубина проникновения тепла в}$$

поверхностный слой обрабатываемой детали, м;

$$\tau = \frac{a}{V_{рез}} = \frac{a}{V \cdot \operatorname{tg} \beta} - \text{время, в течение которого}$$

происходит перерезание резцом бесконечно тонкого адиабатического стержня (рис. 1), т.е. время перемещения адиабатического стержня из положения А в положение О;

k – коэффициент, учитывающий распределение тепла по толщине образующейся стружки ($k < 1$).

Преобразуя зависимость (10) с учетом $m_{дем} = \rho \cdot l \cdot v \cdot l_2$; $m_{cmp} = \rho \cdot l \cdot v \cdot a$; $l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{a}{V \cdot \operatorname{tg} \beta}}$;

$P_z = \sigma \cdot S \cdot t$; $a = S \cdot \sin \varphi$; $v = t / \sin \varphi$, определена максимальная температура резания θ , возникающая в условной плоскости сдвига материала:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + k \right)}. \quad (11)$$

При условии, что температура образующейся стружки изменяется равномерно от нуля до значения θ , коэффициент $k=0,5$. Тогда зависимость (11) описывается:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)} = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot z. \quad (12)$$

Из зависимости (12) следует, что максимальная температура резания θ определяется произведением отношения $2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho)$ и безразмерного коэффициента

$$z = \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)}, \text{ который принимает}$$

значения, изменяющиеся в пределах 0...1 (рис. 2). Поэтому максимальная температура резания θ принимает значения, меньшие или равные отношению $2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho)$.

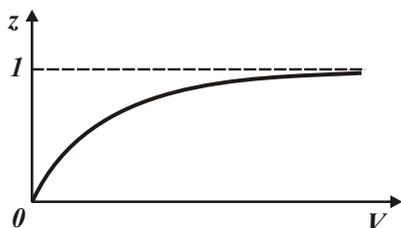


Рис. 2 – Характер изменения безразмерного коэффициента z от скорости резания V

Согласно зависимости (12), с увеличением V , S и φ максимальная температура резания θ увеличивается, асимптотически приближаясь к значению

$2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho)$, равному температуре нагрева стружки при условии, что все образующееся при резании тепло уходит в стружку. Это вытекает из зависимости (12), рассматривая первое слагаемое, стоящее в знаменателе в круглых скобках, равным нулю, т.е. при отсутствии тепла, уходящего в обрабатываемую деталь:

$$\theta_{cmp} = \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho}. \quad (13)$$

Из сказанного следует, что с увеличением скорости резания V и продольной подачи S фактически все тепло, образующееся при резании, уходит на нагревание стружки, а в обрабатываемую деталь уходит небольшая часть тепла. В результате появляется возможность повышения качества обрабатываемой поверхности за счет снижения вероятности образования прижогов, микротрещин, микросколов и других температурных дефектов, возникающих на обрабатываемой поверхности.

Произведем количественную оценку отношения $2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho)$ и безразмерного коэффициента

$$z = \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)}, \text{ входящего в зависи-}$$

мость (12), и максимальной температуры резания θ для исходных данных, приведенных выше (обрабатываемый материал – титановый сплав ВТ1): $\lambda = 13,45$ Дж/(м·с·град.); $c \cdot \rho = 2,74 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град.); $S = 0,47$ мм/об.; $t = 2,5$ мм; $V = 20$ м/мин; $\varphi = 70^\circ$; $a = S \cdot \sin \varphi = 0,472$ мм; $\sigma = 1489,36$ Н/мм²; $\beta = 36^\circ$.

Расчетами установлено, что $2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho) = 1042,6^\circ\text{C}$; $z = 0,77$; $\theta = 906,6^\circ\text{C}$. Следовательно, максимальная температура резания θ близка к значению отношения $2 \cdot \sigma / (c \cdot \rho)$. Поэтому фактически все образующееся в процессе точения тепло для данных условий обработки уходит в образующуюся стружку. В обрабатываемую деталь уходит небольшое количество тепла, составляющее 23 %.

При условии $k=1$ зависимость (11) описывается:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)} = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z_1. \quad (14)$$

Расчетами установлено, что $\sigma / (c \cdot \rho) = 521,3^\circ\text{C}$; $z_1 = 0,87$; $\theta = 453,3^\circ\text{C}$. Поэтому максимальная температура резания θ незначительно отличается от значения отношения $\sigma / (c \cdot \rho)$ и фактически все образующееся в процессе точения тепло (87%) уходит в образующуюся стружку.

Как видно, коэффициент k значительно влияет на максимальную температуру резания θ . При $k=0,5$ имеем $\theta = 906,6^\circ\text{C}$, а при $k=1$ соответственно $\theta = 453,3^\circ\text{C}$, т.е. с увеличением k в 2 раза максимальная температура резания θ уменьшилась в 2 раза.

Учитывая то, что случай $k=0,5$ в большей мере отражает реальные условия нагревания стружки в процессе обработки, следует этот случай принять за основу, тогда $\theta=906,6^{\circ}\text{C}$.

Условное напряжение резания σ связано с условным углом сдвига обрабатываемого материала β зависимостью [7]: $\sigma = \sigma_{сж} / \text{tg}\beta$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м². Тогда зависимость (12) примет вид:

$$\theta = \frac{2 \cdot \sigma_{сж}}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{\text{tg}\beta}{S \cdot V \cdot \sin \varphi}} + \text{tg}\beta \right)}. \quad (15)$$

Из зависимости (15) вытекает, что уменьшение максимальной температуры резания θ происходит в результате уменьшения переменных параметров S , V , φ и увеличения условного угла сдвига обрабатываемого материала β . Однако уменьшение скорости резания V и продольной подачи S не эффективно, т.к. это приводит к уменьшению производительности обработки. Поэтому основными условиями уменьшения температуры резания θ при точении необходимо рассматривать увеличение угла β и соответственно уменьшение условного напряжения резания σ в результате снижения интенсивности трения резца с обрабатываемым материалом в зоне резания.

Таким образом в работе получена аналитическая зависимость (5) для определения температуры, возникающей в зоне трения сходящей стружки с передней поверхностью резца, и аналитическая зависимость (12) для определения температуры, возникающей в условной плоскости сдвига материала ОА (рис. 1). Расчетами установлено, что их значения составляют $257,7^{\circ}\text{C}$ и $906,6^{\circ}\text{C}$.

Как отмечалось выше, сумма этих температур определяет суммарную температуру резания θ , которая для данных условий обработки равна $1164,3^{\circ}\text{C}$. Тогда окончательно выражение для определения θ с учетом зависимостей (5) и (12) примет вид:

$$\theta = \sigma \cdot a \cdot (1 - \text{tg}^2 \beta) \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V}{L \cdot \text{tg}\beta}} + \frac{2 \cdot \sigma}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{2 \cdot \lambda}{c \cdot \rho} \cdot \frac{1}{S \cdot V \cdot \text{tg}\beta \cdot \sin \varphi}} + 1 \right)}. \quad (16)$$

Входящие в первое и второе слагаемые зависимости (16) параметры σ , V , S (с учетом $a = S \cdot \sin \varphi$) одинаково влияют на суммарную температуру резания θ : чем они больше, тем больше θ . Поскольку σ связано с условным углом сдвига обрабатываемого материала β зависимостью [6]: $\sigma = \sigma_{сж} / \text{tg}\beta$, то с увеличением β суммарная температура резания θ будет уменьшаться.

Выводы. Приведены аналитические зависимости для определения температуры резания при лезвийной

обработке на основе установления баланса тепла, уходящего в обрабатываемую деталь, стружку и резец, от действия тепловых источников, возникающих в условной плоскости сдвига материала и в зоне трения образующейся стружки с передней поверхностью резца. Теоретически доказано, что образующееся в процессе трения на передней поверхности резца тепло уходит в основном в стружку, в резец уходит значительно меньшее количество тепла. Температура, возникающая в условной плоскости сдвига материала, меньше температуры, возникающей на передней поверхности резца в результате ее трения со стружкой. Обоснованы условия уменьшения температуры резания, состоящие главным образом в уменьшении условного напряжения резания и увеличении условного угла сдвига обрабатываемого материала.

Список литературы

1. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
3. Силин С.С. Метод подобию при резании материалов / С.С. Силин. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
4. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 127 с.
5. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
6. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: междунар. научн.-техн. конф., 19-20 апреля 2007 г.: труды – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.
7. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. – В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 1. “Механика резания материалов”. – 580 с.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 2. “Теплофизика резания материалов”. – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с.

References (transliterated)

1. Reznikov A.N. Teplofizika protsessov mekhanicheskoy obrabotki materialov / A.N. Reznikov. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 279 s.
2. Yakimov A.V. Optimizatsiya protsessa shlifovaniya / A.V. Yakimov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 175 s.
3. Silin S.S. Metod podobiya pri rezanii materialov / S.S. Silin. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 152 s.
4. Evseev D. G. Formirovanie svoystv poverkhnostnykh sloev pri abrazivnoy obrabotke / D. G. Evseev. – Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 1975. – 127 s.
5. Bobrov V.F. Osnovy teorii rezaniya metallov / V.F. Bobrov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 343 s.
6. Novikov F.V. Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoy obrabotki detaley par treniya porshnevykh nasosov / F.V. Novikov, S.M. Yatsenko // Fizicheskie i kompiuternye tekhnologii: mezhdun. nauchn.-tekh. konf., 19-20 aprelya 2007 g.: trudy – Kharkov: KhNPK “FED”, 2007. – S. 8-20.
7. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya / Pod obsh. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. – V 10 tomakh. – Odessa: ONPU, 2002. – T. 1. “Mekhanika rezaniya materialov”. – 580 s.
8. Fiziko-matematicheskaya teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya / Pod obsh. red. F.V. Novikova i A.V. Yakimova. – V 10 tomakh. – Odessa: ONPU, 2003. – T. 2. “Teplofizika rezaniya materialov”. – 625 s.

Поступила (received) 07.10.2016