

УДК 621.923

Ф.В. Новиков, И.А. Рябенков

Харьковский национальный экономический университет

Физические условия осуществления процессов высокоскоростного резания и глубинного шлифования

Проведен теоретический анализ температуры резания и обоснованы физические условия осуществления процессов высокоскоростного резания и глубинного шлифования.

Тепловые процессы, возникающие при резании металлов, в большинстве случаев являются основным ограничивающим фактором при выборе оптимальных условий обработки. Поэтому их исследование представляется весьма важным и актуальным, направленным на изыскание эффективных путей повышения производительности и качества обработки. В фундаментальном труде проф. Маслова Е.Н. [1] отмечается, что при шлифовании следует различать мгновенную температуру резания-царапания и установившуюся температуру поверхностного слоя шлифуемой детали. Мгновенная температура развивается в период снятия стружки абразивным зерном, т.е. практически мгновенно достигает весьма большой величины и практически мгновенно отводится в стружку и обрабатываемую деталь. Она может быть определена с известным приближением косвенным путем по структурным превращениям в тончайших граничных слоях шлифуемой детали. Установлено, что мгновенная температура может достигать точки A_{c3} и даже приближаться к температуре плавления данного металла. Установившаяся температура поверхностного слоя шлифуемой детали не является значительной даже при шлифовании без охлаждения. В связи с этим важно количественно оценить значения этих двух температур, для чего проведем их теоретический анализ.

В наших работах [2, 3] получены новые теоретические решения о закономерностях формирования температуры при механической обработке с учетом баланса тепла, уходящего в образующиеся стружки и обрабатываемую деталь. Определим первоначально мгновенную температуру резания-царапания. Для этого рассмотрим процесс микрорезания отдельным зерном, рис. 1. Представим снимаемый припуск

пакетом адиабатических стержней. Аналитическая зависимость для определения температуры резания имеет вид [2]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot z, \quad (1)$$

где σ – условное напряжение резания, Н/м²;

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

ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³;

z – относительная величина температуры, определяется из уравнения:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot a \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta = \bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z, \quad (2)$$

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

a – толщина среза, м;

V – скорость резания, м/с;

β – условный угол сдвига материала при резании.

На рис. 1 показаны параметры теплового процесса при микрорезании отдельным зерном l_1 , l_2 и $V_{рез}$, которые определяются зависимостями:

$$l_1 = \frac{\lambda \cdot \bar{l}_1}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}}; \quad l_2 = \frac{\lambda \cdot \bar{l}_2}{c \cdot \rho \cdot V_{рез}}; \quad \bar{l}_2 = z; \quad V_{рез} = V \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (3)$$

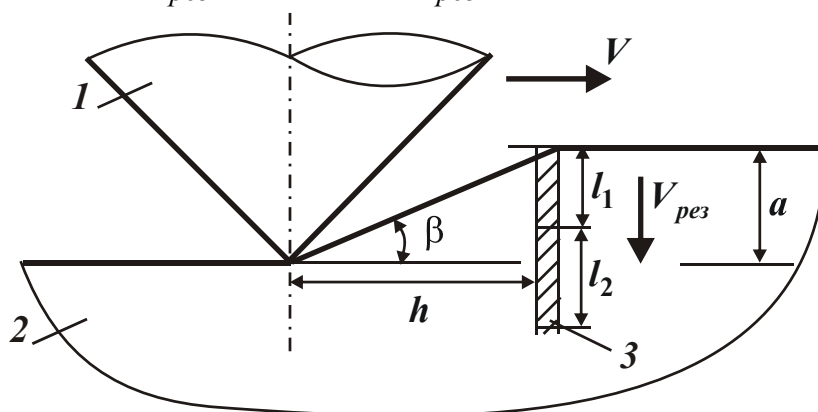


Рис. 1. Расчетная схема процесса микрорезания отдельным зерном: 1 – режущее зерно; 2 – обрабатываемый материал; 3 – адиабатический стержень

Параметр l_1 – это путь, пройденный тепловым источником за определенное время в направлении, перпендикулярном направлению движения режущего инструмента, т.е. вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали. Параметр l_2 – это толщина поверхностного слоя обрабатываемой детали, в котором концентрируется выделяю-

щееся при резании тепло. Параметр $V_{рез}$ – скорость перемещения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Таблица 1

Расчетные значения безразмерных величин \bar{l}_1 , \bar{l}_2 и \bar{l}_2/\bar{l}_1

z	0,091	0,167	0,333	0,5	0,632	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
\bar{l}_1	0,004	0,015	0,072	0,193	0,368	1,047	1,4	2,005	3,6	6,0
\bar{l}_2	0,091	0,167	0,333	0,5	0,632	0,85	0,9	0,99	0,999	0,9999
\bar{l}_2/\bar{l}_1	22,75	11,13	4,625	2,59	1,717	0,818	0,643	0,495	0,278	0,167

В табл. 1 приведены расчетные значения безразмерных величин \bar{l}_1 , \bar{l}_2 и \bar{l}_2/\bar{l}_1 в зависимости от изменения относительной величины температуры z . Как видно, с увеличением z безразмерные величины \bar{l}_1 , \bar{l}_2 увеличиваются, а отношение \bar{l}_2/\bar{l}_1 уменьшается. Относительная величина температуры z изменяется в пределах от 0 до 1, табл. 1. При $z \rightarrow 1$ имеет место установившийся тепловой процесс, т.е. температура резания θ с течением времени действия теплового источника остается постоянной величиной.

Из зависимости (2) вытекает, что за счет увеличения параметров a , V и β можно неограниченно увеличивать безразмерную величину \bar{l}_1 . При этом относительная величина температуры z будет оставаться фактически неизменной $z \rightarrow 1$ (табл. 1), так же как и абсолютная температура резания θ , определяемая зависимостью (1), т.к. условное напряжение резания σ мало изменяется при изменении условий обработки. Следовательно, при $z \rightarrow 1$ температура резания θ зависит лишь от условного напряжения резания σ . Уменьшая σ до определенного значения (при $z \rightarrow 1$), можно обработку вести при необходимой температуре резания θ , исключая прижоги и другие температурные дефекты обработки. В этом случае безразмерная величина \bar{l}_1 может принимать любые значения, в результате чего фактически отсутствуют ограничения на увеличение толщины среза a и скорости резания V . Поэтому с целью повышения производительности обработки скорость резания V необходимо увеличивать до технически достижимого на станке уровня, обеспечивая заданное значение σ , чтобы температура резания θ , исходя из зависимости (1), не превышала допустимое значение. Данное решение является физическим условием осуществления высокоскоростного резания лезвийными и

абразивными инструментами. При лезвийной обработке температура резания θ будет меньше, чем при абразивной, т.к. меньше условное напряжение резания [4]

$$\sigma = \frac{2\sigma_{сж}}{K_{рез}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности обрабатываемого материала на сжатие, Н/м²;

$K_{рез} = P_z / P_y$ – коэффициент резания;

P_z, P_y – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н.

Как известно, при шлифовании $K_{рез} = 0,1 \dots 1,0$, а при лезвийной обработке $K_{рез} = 1 \dots 10$. Следовательно, при лезвийной обработке условное напряжение резания σ может быть до 10 раз меньше, чем при шлифовании. Из этого вытекает, что для осуществления высокоскоростного шлифования необходимо существенно уменьшить σ , в первую очередь за счет повышения режущей способности круга, применяя эффективные методы его правки, используя круги из синтетических сверхтвердых материалов (обладающие высокой остротой режущих кромок), а также за счет уменьшения трения круга с обрабатываемым материалом. Из зависимости (2) вытекает возможность фактически неограниченно увеличивать толщину среза a , поскольку при условии $z \rightarrow 1$ это не приведет к увеличению температуры резания θ в соответствии с зависимостью (1). Таким образом, данное решение следует рассматривать как физическое условие для реализации глубинного шлифования и силового резания лезвийными инструментами.

Как следует из зависимости (3), параметр l_2 (определяющий толщину поверхностного слоя обрабатываемой детали, в котором концентрируется тепло при резании) уменьшается с увеличением скорости $V_{рез}$ при условии $z \rightarrow 1$. Следовательно, за счет увеличения скорости резания V (при переходе в область высокоскоростного резания) можно уменьшить параметр l_2 , определяющий по сути толщину дефектного слоя детали. Толщина среза a не влияет на параметр l_2 при условии $z \rightarrow 1$. Поэтому при глубинном шлифовании можно обеспечить такой же по толщине дефектный слой, как и при обычном многопроходном шлифовании. С целью уменьшения параметра l_2

при одновременном увеличении производительности обработки необходимо использовать высокоскоростное глубинное шлифование, обеспечивая при этом заданные значения σ и θ .

Необходимо отметить, что уменьшение σ предполагает увеличение условного угла сдвига материала при резании β , т.к. они связаны обратно пропорциональной зависимостью [4]:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma}. \quad (4)$$

Для определения установившейся (т.е. средней) температуры поверхностного слоя обрабатываемой детали можно использовать зависимость (1), рассматривая уравнение (2) в виде [2]:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot t \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2R_{кр}}} = \bar{l}_1 = -\ln(1-z) - z, \quad (5)$$

где t – глубина шлифования, м;

$V_{дет}$ – скорость детали, м/мин;

$R_{кр}$ – радиус круга, м.

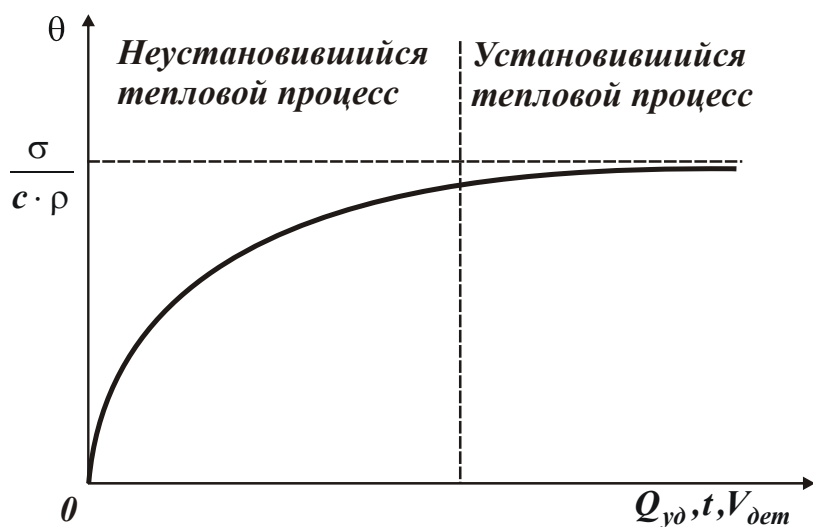


Рис. 2. Зависимость θ от $Q_{уд}$ (t и $V_{дет}$)

Установлено, что относительная величина температуры z , рассчитанная на основе уравнения (5), всегда меньше величины z , рассчитанной на основе уравнения (2). Следовательно, мгновенная температура всегда больше установившейся температуры при шлифовании. Это хорошо согласуется с выше приведенными результатами проф. Маслова Е.Н. [1]. Увеличивая глубину шлифования t или скорость детали $V_{дет}$ в уравнении (5), появляется возможность многократно увеличить производительность обработки (например, удель-

ную производительность шлифования $Q_{y\partial} = t \cdot V_{\partial em}$, рис. 2) при заданной температуре резания θ , что согласуется с практикой применения глубинного шлифования.

Таким образом, в работе теоретически обоснованы основные направления повышения эффективности механической обработки за счет снижения отрицательной роли температурного фактора. Показано, что добиться существенного увеличения производительности обработки без увеличения температуры резания θ можно путем осуществления установившегося теплового процесса при резании ($z \rightarrow 1$), рис. 2, обеспечивая требуемое значение условного напряжения резания σ в соответствии с зависимостью (1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов. – М.: ГНТИМЛ, 1951. – 179 с.
2. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.
3. Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Кленов О.С. Глубинное алмазное шлифование быстрорежущей стали // Труды 13-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 232-236.
4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.