

УДК 621.923

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142544

© Полянський В.И.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО ТЕМПЕРАТУРНОМУ КРИТЕРИЮ**

Проведен теоретический анализ температуры резания при механической обработке. Установлено, что при небольшой производительности обработки целесообразно использовать многопроходное шлифование с увеличенной скоростью детали, а с увеличением производительности обработки – глубинное шлифование с небольшой скоростью детали. Показано, что при точении температура резания меньше, чем при шлифовании, а наибольшая производительность обработки достигается при высокоскоростном резании.

Ключевые слова: механическая обработка, шлифование, точение, температура шлифования, условное напряжение резания, производительность обработки.

Полянський В.І. Визначення технологічних можливостей механічної обробки за температурним критерієм. У роботі наведено результати теоретичних досліджень і запропоновано уточнений розрахунок температури різання при механічній обробці з урахуванням руху теплового джерела вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі та балансу тепла, що йде в стружки, що утворюються, й поверхневий шар оброблюваної деталі. Це дозволило визначити оптимальні параметри режиму плоского шліфування (глибину шліфування й швидкість деталі) для заданих значень температури шліфування та питомої продуктивності обробки. Встановлено, що зі збільшенням питомої продуктивності обробки ефективно шліфування виконувати за схемою глибинного шліфування з відносно невеликою швидкістю деталі. При відносно невеликій питомій продуктивності обробки доцільно використовувати багатопрохідне шліфування зі збільшеною швидкістю деталі. Виходячи з цього, показано, що урахування руху теплового джерела вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі забезпечує більш точне рішення даного завдання. Встановлено, що в реальних умовах шліфування відношення заданої та максимальної температур шліфування може змінюватися лише в межах 0...0,4 в зв'язку зі значним перевищенням максимальною температурою шліфування температури плавлення оброблюваного матеріалу через значне збільшення умовного напруження різання при шліфуванні. Розрахунками встановлено, що при точінні температура різання завжди менше, ніж при шліфуванні в зв'язку з меншою енергоємністю обробки (умовним напруженням різання). Тому максимальна температура різання при точінні, як встановлено, приймає значення, менші температури плавлення оброблюваного матеріалу. Отже, відношення заданої та максимальної температур різання може змінюватися в межах 0...1,0, тобто в значно більших межах, ніж при шліфуванні. Це розширює технологічні можливості процесу точіння порівняно зі шліфуванням. Показано, що найбільша продуктивність обробки при заданій температурі різання при точінні досягається в умовах високошвидкісного різання.

Ключові слова: механічна обробка, шліфування, точіння, температура шліфування, умовне напруження різання, продуктивність обробки.

V.I. Polyansky. Determination of technological possibilities of machining by temperature criterion. The results of theoretical studies of the cutting temperature at machining are given, taking into account the motion of the heat source deep into the surface layer of the workpiece and balance of the heat flowing into the forming chips and the surface layer of the workpiece. This made it possible to determine the optimum parameters of grinding (the depth of grinding and the speed of the part), taking into account the limita-

* канд. техн. наук, ген. директор, ООО «Империя металлов», г. Харьков, fokusnic1@rambler.ru

tion on the temperature criterion and specific processing capacity. It has been found that with a relatively low specific processing capacity, it is expedient to use multi-pass grinding with an increased speed of the part, and with high specific processing capacity – deep grinding with a low speed of the part. It is shown that taking into account the motion of the heat source deep into the surface layer of the workpiece ensures a more accurate solution of this problem. It has been established that in real grinding conditions the ratio of the preset and maximum grinding temperatures can vary only within the range of 0...0,4 due to the significant excess of the maximum melting temperature of the melting temperature of the material being processed due to a significant increase in the nominal cutting stress. It has been found by calculations that at turning the cutting temperature is always less than at grinding due to the lower power consumption of the treatment (the nominal cutting stress). Therefore, the maximum cutting temperature during turning is determined to be less than the melting temperature of the material being processed. Consequently, the ratio of the preset and maximum cutting temperatures can vary between 0...1,0, i. e. within much larger limits than at grinding. This expands the technological capabilities of the turning process as compared to grinding. It has been shown that the highest processing capacity at a given temperature during turning is achieved under conditions of high-speed cutting.

Keywords: *machining, grinding, turning, grinding temperature, conditional cutting stress, processing capacity.*

Постановка проблеми. Повышение качества и производительности обработки изделий, изготовленных из материалов повышенной твердости, является важным условием эффективного применения механической обработки, в особенности процессов шлифования и точения. Это связано с тем, что при шлифовании, как правило, существенно повышается температура резания и на обрабатываемых поверхностях образуются температурные дефекты (прижоги, микротрещины и др.), устранить которые можно уменьшением производительности обработки или применением более совершенных методов механической обработки. Поэтому решение научно-практической задачи повышения качества и производительности обработки при шлифовании и точении имеет важное практическое и теоретическое значение, позволит выявить технологические возможности различных методов механической обработки по температурному критерию и установить оптимальные параметры режима резания, исключающие образование температурных дефектов на обрабатываемых поверхностях. Исследования выполнены в соответствии с тематическим планом научно-практических работ ООО «Империя металлов» (г. Харьков).

Анализ последних исследований и публикаций. Теплофизике методов шлифования и точения посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные исследования [1, 2], позволившие установить оптимальные условия обработки, обеспечивающие повышение качества и производительности обработки. Особое внимание теплофизике шлифования уделено в работах профессора А.В. Якимова [2, 3], которые направлены на исследование прерывистого шлифования, являющегося наиболее эффективным методом уменьшения температуры шлифования при обработке изделий, изготовленных из материалов повышенной твердости. Однако в этих работах не определены предельные возможности повышения производительности обработки с учетом ограничения по температуре резания. Это не позволяет произвести количественную оценку технологических возможностей различных методов механической обработки по температурному критерию с точки зрения достижения максимально возможной производительности обработки. В связи с этим, в настоящей работе предложен эффективный теоретический подход к решению данной задачи, открывающий новые перспективные направления применения методов шлифования и точения на практике.

Цель работы – повышение качества и производительности обработки на основе определения предельных технологических возможностей методов шлифования и точения по температурному критерию.

Изложение основного материала. В работе [4] предложено аналитическое решение определения температуры шлифования на основе учета движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали, т. е. вдоль адиабатического стержня, которыми условно представлен снимаемый припуск при шлифовании. По сути, рассматриваются условия

перерезания шлифовальным кругом адиабатического стержня со скоростью $V_{рез} = t/\tau$, где t – глубина шлифования, м; τ – время перерезания адиабатического стержня, с. На этой основе получена сложная, но важная аналитическая зависимость для определения температуры шлифования θ [4]:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \cdot \left[1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2}{\lambda} \cdot \tau} \cdot e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot \theta}{\sigma}} \right] \text{ или } \left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{рез}^2}{\lambda} \cdot \tau}, \quad (1)$$

где $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$ – максимальная температура шлифования, град.; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·град); ρ – плотность материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·град); σ – условное напряжение резания, Н/м².

Скорость перерезания адиабатического стержня $V_{рез}$ при плоском шлифовании [4]:

$$V_{рез} = V_{дет} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}, \quad (2)$$

где $V_{дет}$ – скорость детали, м/с; $R_{кр}$ – радиус шлифовального круга, м.

Подставляя зависимость (2) в (1), с учетом $t = V_{рез} \cdot \tau$ получено:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{дет} \cdot t}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}} \text{ или } \left(1 - \frac{\theta}{\theta_{max}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{max}}} = e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot Q_{yo}}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}}, \quad (3)$$

где $Q_{yo} = V_{дет} \cdot t$ – удельная производительность обработки, м²/с.

Сравнивая зависимости (1) и (3), видно, что

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{дет} \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{yo} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}}. \quad (4)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (4) значения $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$ и времени τ для заданных значений θ / θ_{max} и исходных данных (при шлифовании стали ШХ15): $V_{рез} = 3,33 \cdot 10^{-3}$ м/с; коэффициент температуропроводности – $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Таблица 1

Расчетные значения параметров теплового процесса при шлифовании

θ / θ_{max}	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1
$e^{\theta / \theta_{max}}$	1	1,2214	1,4918	1,8221	2,2255	2,4596	2,7183
$(1 - \theta / \theta_{max}) \cdot e^{\theta / \theta_{max}}$	1	0,9771	0,8951	0,7288	0,4451	0,24596	0
$V_{рез}^2 \cdot \tau / a$	0	0,02	0,11	0,32	0,81	1,4	∞
τ , с	0	0,0264	0,1452	0,4224	1,0692	1,848	∞
$Q_{yo} = 500$ мм ² /мин							
t , мм	0	0,278	8,44	71,36	456	1366	∞
$V_{дет}$, м/мин	∞	1,8	0,059	0,007	0,0013	0,0038	0
$Q_{yo} = 1000$ мм ² /мин							
t , мм	0	0,0696	2,11	17,84	114,0	341,5	∞
$V_{дет}$, м/мин	∞	14,37	0,47	0,056	0,09	0,03	0

Продолжение таблицы 1

$Q_{y\partial} = 2000 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
$t, \text{ мм}$	0	0,0174	0,5275	4,46	28,5	85,375	∞
$V_{\text{дет}}, \text{ м/мин}$	∞	115,0	3,8	0,45	0,07	0,023	0
$Q_{y\partial} = 4000 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
$t, \text{ мм}$	0	0,00435	0,1318	1,115	7,125	21,343	∞
$V_{\text{дет}}, \text{ м/мин}$	∞	919,5	30,35	3,6	0,56	0,19	0

Как следует из табл. 1, с увеличением величины $V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau / a$ и, соответственно, времени τ отношение $\theta / \theta_{\text{max}}$ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице.

В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (4) значения глубины шлифования t и скорости детали $V_{\text{дет}}$ для заданных значений отношения $\theta / \theta_{\text{max}}$, удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = V_{\text{дет}} \cdot t$, радиуса шлифовального круга $R_{\text{сп}} = 0,2 \text{ м}$ при шлифовании стали ШХ15 – $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Согласно табл. 1, с увеличением глубины шлифования t отношение $\theta / \theta_{\text{max}}$ непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к единице. Скорость детали $V_{\text{дет}}$ при этом непрерывно уменьшается.

Анализируя приведенные расчетные значения глубины шлифования t и скорости детали $V_{\text{дет}}$, можно сделать вывод, что в реальных условиях шлифования реализуются, как правило, значения $\theta / \theta_{\text{max}} = 0 \dots 0,4$. Это связано с тем, что, как установлено расчетами, максимальная температура шлифования $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho)$ вследствие относительно больших значений условного напряжения резания σ всегда превышает температуру плавления обрабатываемого материала. Поэтому в реальных условиях шлифования температура шлифования θ изменяется в пределах от 0 до температуры плавления обрабатываемого материала, а расчетная максимальная температура шлифования $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho)$ принимает значения, превышающие температуру плавления обрабатываемого материала. Из табл. 1 также следует, что с увеличением температуры шлифования и удельной производительности эффективно обработку производить по схеме глубинного шлифования с относительно небольшой скоростью детали, а при небольшой удельной производительности обработки целесообразно использовать многопроходное шлифование с увеличенной скоростью детали.

В работе [3] приведено решение задачи определения температуры шлифования θ без учета движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda}, \tag{5}$$

где $q = \sigma \cdot V_{\text{рез}}$ – плотность теплового потока, Вт/м²; $l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda \cdot \tau}{c \cdot \rho}}$ – глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали, м.

После преобразований зависимость (5) принимает вид:

$$\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau}. \tag{6}$$

Из зависимостей (1) и (6) следует, что температура шлифования θ вполне однозначно определяется величиной $V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau / a$, однако с разной интенсивностью. В табл. 2 приведены рассчитанные по зависимости (6) значения величины $V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau / a$ для разных значений $\theta / \theta_{\text{max}}$.

Таблица 2

Расчетные значения величины $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$

θ / θ_{max}	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1	1,18
$V_{рез}^2 \cdot \tau / a$	0	0,04	0,16	0,36	0,64	0,81	1	1,4

Из табл. 2 следует, что с увеличением величины $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$ значения отношения θ / θ_{max} , рассчитанные на основе зависимости (6), могут принимать значения, большие единицы, а рассчитанные на основе зависимости (1) и приведенные в табл. 1, – меньше 1, т. е. в этом случае отношение θ / θ_{max} непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к 1.

При относительно небольших значениях $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$ значения отношения θ / θ_{max} отличаются не столь значительно для обоих случаев, т. е. для расчетов можно использовать зависимости (1) и (6). С увеличением величины $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$, рассчитанные на основе зависимости (6) значения отношения θ / θ_{max} могут превышать единицу, что лишено физического смысла. В этом случае для расчетов необходимо использовать зависимость (1). Однако для качественного анализа температуры шлифования θ можно использовать и зависимость (6), поскольку температура шлифования θ в обеих зависимостях определяется исключительно величиной $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$.

В связи с этим, зависимость (6) с учетом зависимости (2) можно представить в виде:

$$\frac{\theta}{\theta_{max}} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{дем} \cdot t \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}} = \sqrt{\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{yd} \cdot \sqrt{2 \cdot R_{кр}}} \quad (7)$$

В данном случае отношение θ / θ_{max} определяется, главным образом, удельной производительностью обработки $Q_{yd} = V_{дем} \cdot t$. Поэтому, уменьшая ее, а также глубину шлифования t (т. е. осуществляя многопроходное шлифование), можно добиться уменьшения температуры шлифования θ . Скорость детали $V_{дем}$ при этом необходимо увеличивать в соответствии с зависимостью $V_{дем} = Q_{yd} / t$.

Используя зависимость (7), можно определить максимально возможную удельную производительность обработки $Q_{yd} = V_{дем} \cdot t$ для заданной температуры шлифования θ :

$$Q_{yd} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_{кр}}{t}} \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_{max}} \right)^2 \quad (8)$$

Как видно, увеличить Q_{yd} при условии $\theta / \theta_{max} = const$ можно уменьшением глубины шлифования t (т. е. переходом в область многопроходного шлифования) и увеличением радиуса шлифовального круга $R_{кр}$. При этом скорость детали $V_{дем} = Q_{yd} / t$ необходимо увеличивать до технически приемлемого значения (с точки зрения ограничения износа круга и достижения требуемых параметров качества и точности обрабатываемых поверхностей).

В табл. 3 приведены взятые из табл. 2 значения величины $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$ и рассчитанные на их основе значения времени τ для заданных значений отношения θ / θ_{max} и исходных данных (при шлифовании стали ШХ15): $V_{рез} = 3,33 \cdot 10^{-3}$ м/с; $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Таблица 3

Расчетные значения параметров теплового процесса при шлифовании

θ / θ_{max}	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1
$V_{рез}^2 \cdot \tau / a$	0	0,04	0,16	0,36	0,64	0,81	1
τ , с	0	0,03	0,121	0,273	0,485	0,614	0,757

Продолжение таблицы 3

$Q_{y\partial} = 500 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
t , мм	0	0,64	10,32	52,52	166,68	266,48	406,4
$V_{\text{дем}}$, м/мин	∞	0,78	0,05	0,01	0,003	0,002	0,0013
$Q_{y\partial} = 1000 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
t , мм	0	0,16	2,58	13,13	41,67	66,62	101,6
$V_{\text{дем}}$, м/мин	∞	6,25	0,4	0,075	0,024	0,015	0,01
$Q_{y\partial} = 2000 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
t , мм	0	0,04	0,645	3,28	10,42	16,65	25,4
$V_{\text{дем}}$, м/мин	∞	50,0	3,2	0,6	0,192	0,12	0,08
$Q_{y\partial} = 4000 \text{ мм}^2/\text{мин}$							
t , мм	0	0,01	0,161	0,82	2,61	4,16	6,35
$V_{\text{дем}}$, м/мин	∞	400,0	25,6	4,8	1,54	0,96	0,64

В табл. 3 приведены также рассчитанные на основе зависимости (4) значения глубины шлифования t и скорости детали $V_{\text{дем}}$ для заданных значений отношения $\theta/\theta_{\text{max}}$, удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = V_{\text{дем}} \cdot t$, радиуса шлифовального круга $R_{\text{кр}} = 0,2$ м при шлифовании стали ШХ15 – $a = \lambda / (c \cdot \rho) = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Как и в табл. 1, с увеличением глубины шлифования t отношение $\theta/\theta_{\text{max}}$ непрерывно увеличивается, а скорость детали $V_{\text{дем}}$ уменьшается. Сравнивая приведенные в табл. 1 и табл. 3 значения t и $V_{\text{дем}}$, видно, что они отличаются в большей степени, чем значения отношения $\theta/\theta_{\text{max}}$. Для более точного определения параметров режима шлифования с учетом ограничения по температуре шлифования θ необходимо использовать зависимость (1), представляя ее в виде:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau = \ln \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} \right]} \quad (9)$$

С учетом зависимости (2) окончательно имеем:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{\text{дем}} \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}} = \ln \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} \right]} \quad \text{или} \quad \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{y\partial} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}} = \ln \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} \right]} \quad (10)$$

Откуда

$$Q_{y\partial} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_{\text{кр}}}{t}} \cdot \ln \frac{1}{\left[\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} \right]} \quad (11)$$

Как видно, зависимости (11) и (8) одинаковы по структуре, однако отличаются степенью влияния отношения $\theta/\theta_{\text{max}}$ на $Q_{y\partial}$. Приведенные в табл. 1 расчетные значения глубины шлифования t получены на основе преобразованной зависимости (11).

Выражение $V_{\text{рез}}^2 \cdot \tau / a$, входящее в зависимость (9), можно представить в обобщенном виде с учетом соотношений: $V_{\text{рез}} = t/\tau$ и $\tau = l/V_{\text{дем}}$, где l – длина зоны стружкообразования

при шлифовании, м. После преобразований с учетом $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$, получено:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot \frac{Q_{y\delta} \cdot t}{l} \quad (12)$$

При заданном значении выражения $V_{рез}^2 \cdot \tau / a$, длины l и, соответственно, температуры шлифования θ удельная производительность обработки $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$ тем больше, чем меньше глубины шлифования t , т. е. эффективно использовать схему многопроходного шлифования, обеспечивающую увеличение $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$. С увеличением длины l при заданном значении t удельная производительность обработки $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$ увеличивается. Поэтому с целью повышения $Q_{y\delta}$ длину l необходимо увеличивать.

Поскольку при шлифовании $l = \sqrt{2 \cdot t \cdot R_{кр}}$ [3], то зависимость (12) принимает вид:

$$\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau = \frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot Q_{y\delta} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{кр}}} \quad (13)$$

В этом случае за счет уменьшения глубины шлифования t можно в еще большей степени увеличить удельную производительность обработки $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$, поскольку глубина шлифования t входит в зависимость (13) в степени 0,5. Чем больше радиус шлифовального круга $R_{кр}$, тем больше может быть удельная производительность обработки $Q_{y\delta} = V_{\delta em} \cdot t$.

При точении длина l представляет собой сумму длины контакта задней поверхности резца (с учетом его износа) с обрабатываемым материалом и расстояния OA' от вершины резца до максимально удаленного адиабатического стержня, в котором начинают образовываться сдвиговые деформации (в условной плоскости сдвига OA , расположенной под условным углом сдвига обрабатываемого материала β к направлению скорости резания V) от силового воздействия резца с передним углом γ (рисунок) [5].

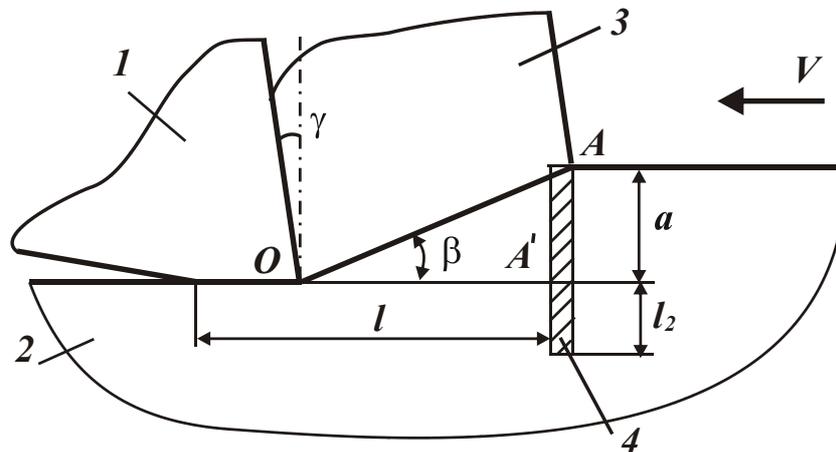


Рисунок – Расчетная схема параметров процесса точения: 1 – резец; 2 – обрабатываемый материал; 3 – образующая стружка; 4 – адиабатический стержень

Также как и при шлифовании, при условии $\frac{c \cdot \rho}{\lambda} \cdot V_{рез}^2 \cdot \tau = const$ эффективно уменьшать толщину среза a , условно равную параметру t в зависимости (12), с точки зрения увеличения удельной производительности обработки $Q_{y\delta} = V \cdot a$. Следовательно, при точении целесообразно переходить в область высокоскоростного резания, что подтверждается многолетней практикой широкого применения в производстве этого прогрессивного метода механической обработки.

Как известно, энергоёмкость обработки (или условное напряжение резания σ) при точении всегда меньше, чем при шлифовании, вследствие меньшей интенсивности трения в зоне резания. Согласно зависимости (1), это способствует снижению температуры резания θ . Поэтому при точении, как и в целом при лезвийной обработке, температура резания θ будет меньше, чем при шлифовании (при одинаковой удельной производительности обработки $Q_{y\partial} = V \cdot a$). В связи с уменьшением условного напряжения резания σ максимальная температура резания $\theta_{max} = \sigma / (c \cdot \rho)$, как установлено, принимает значения, меньшие температуры плавления обрабатываемого материала. Следовательно, отношение θ / θ_{max} при точении может изменяться в пределах $0 \dots 1,0$, тогда как при шлифовании – лишь в пределах $0 \dots 0,4$. Это расширяет технологические возможности процесса точения по сравнению со шлифованием и позволяет объяснить эффективность применения в последние годы методов лезвийной обработки вместо шлифования на ряде финишных операций с целью повышения качества, точности и производительности обработки.

Особенно значительный эффект обработки достигается при использовании режущих лезвийных инструментов из синтетических сверхтвёрдых материалов (гексанит-Р, эльбор-Р и др.), характеризующихся высокими показателями износостойкости, теплопроводности и самым низким коэффициентом трения с обрабатываемым материалом [6].

Для расчета температуры резания при точении, также как и при шлифовании, можно использовать зависимость (1) с учетом преобразования (12), рассматривая толщину среза равной $a = t$, удельную производительность обработки $Q_{y\partial} = V \cdot a$, где $V = V_{дет}$ – скорость резания, м/с. Таким образом, показано, что температура резания при точении и шлифовании определяется одной и той же зависимостью (1). Это позволяет с единых позиций производить анализ и количественно оценивать технологические возможности различных методов механической обработки с точки зрения увеличения производительности обработки для заданной температуры резания и на этой основе расчетным путем прогнозировать оптимальные режимы резания и другие параметры обработки.

Выводы

Предложен уточненный расчет температуры резания с учетом движения теплового источника вглубь поверхностного слоя обрабатываемой детали. Это позволило определить оптимальные параметры режима плоского шлифования (глубину шлифования и скорость детали) для заданной температуры шлифования и производительности обработки. Установлено, что с их увеличением эффективно обработку производить по схеме глубинного шлифования с относительно небольшой скоростью детали. При относительно небольшой производительности обработки целесообразно использовать многопроходное шлифование с увеличенной скоростью детали. Показано, что в реальных условиях шлифования отношение заданной и максимальной температур шлифования изменяется лишь в пределах $0 \dots 0,4$ в связи с превышением максимальной температурой шлифования температуры плавления обрабатываемого материала из-за увеличения условного напряжения резания. Расчетами установлено, что при точении максимальная температура резания всегда меньше, чем при шлифовании, и меньше температуры плавления обрабатываемого материала. Следовательно, отношение заданной и максимальной температур резания может изменяться в пределах $0 \dots 1,0$, т. е. в значительно больших пределах, чем при шлифовании. Это расширяет технологические возможности процесса точения по сравнению с шлифованием. Показано, что наибольшая производительность обработки при заданной температуре резания при точении достигается в условиях высокоскоростного резания.

Список использованных источников:

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. Теоретические основы резания и шлифования материалов : учебное пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса : ОГПУ, 1999. – 450 с.

4. Новиков Ф.В. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов / Ф.В. Новиков, С.М. Яценко // Физические и компьютерные технологии: труды 13 междунар. науч.-техн. конф. (19-20 апреля 2007 г.; Харьков). – Харьков : ХНПК «ФЭД», 2007. – С. 8-20.
5. Новиков Ф.В. Упрощенный расчет температуры резания при шлифовании и лезвийной обработке / Ф.В. Новиков, В.И. Полянский // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 87-92. – (Серія : Технології в машинобудуванні).
6. Сизый Ю.А. Динамика и теплофизика шлифования / Ю.А. Сизый, Д.В. Сталинский. – Харьков : ГП УкрНТЦ «Энергосталь», 2016. – 448 с.

References:

1. Reznikov A.N. *Teplofizika protsessov mekhanicheskoi obrabotki materialov* [Thermophysics of the processes of mechanical processing of materials]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1981. 279 p. (Rus.)
2. Yakimov A.V. *Optimizatsiia protsessa shlifovaniia* [Optimization of the grinding process]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1975. 175 p. (Rus.)
3. Yakimov A.V., Novikov F.V., Novikov G.V., Serov B.S., Yakimov A.A. *Teoreticheskie osnovy rezaniia i shlifovaniia materialov: ucheb.posobie* [Theoretical basis of cutting and grinding materials: tutorial]. Odessa, OSPU Publ., 1999. 450 p. (Rus.)
4. Novikov F.V., Yatsenko S.M. Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoi obrabotki detalei par treniia porshnevykh nasosov. *Trudy 13 Mizhn. nauk.-tehn. konf. «Fizicheskie i komp'uternye tekhnologii»* [Increase in the efficiency of the technology for finishing the details of friction pairs of piston pumps. Proceedings of 13th Int. Sci.-Techn. Conf. «Physical and Computer Technologies»]. Kharkov, 2007, pp. 8-20. (Rus.)
5. Novikov F.V., Polyansky V.I. Uproshchennyi raschet temperatury rezaniia pri shlifovanii i lezviinnoi obrabotke [Simplified calculation of cutting temperature during grinding and blade machining]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». Serii: Tekhnologii v mashinobuduvanni – Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Techniques in a machine industry*, 2017, no. 17 (1239), pp. 87-92. (Rus.)
6. Sizyy Yu.A., Stalinskiy D.V. *Dinamika i teplofizika shlifovaniia* [Dynamics and thermal physics of grinding]. Khar'kov, GP UkrNTTS «Energostal'» Publ., 2016. 448 p. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.03.2018