

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УМЕНЬШЕНИЯ СИЛОВОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Введение. При шлифовании материалов повышенной твердости возникают значительные силы резания, которые резко снижают производительность обработки и ухудшают качество обрабатываемых поверхностей. Это относится к шлифованию твердых сплавов, высокотвердых керамик, наплавочных материалов и т.д. Так, при шлифовании контактных (рабочих) поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения с износостойкими наплавочными материалами высокой твердости, вследствие повышенной силовой напряженности процесса абразивный круг интенсивно изнашивается, и производительность обработки принимает весьма малые значения. Применение алмазных кругов на высокопрочных металлических связках взамен абразивных кругов позволяет снизить силовую напряженность процесса. Однако при этом алмазный круг интенсивно засаливается и теряет режущую способность, что требует его постоянной электроэрозионной правки, реализовать которую при высокопроизводительном шлифовании сложно. Все это предполагает изыскания новых технологических возможностей повышения эффективности шлифования материалов повышенной твердости.

Анализ основных достижений и литературы. В работах [1-3] обоснованы основные направления интенсификации процесса шлифования. Однако они основаны на результатах экспериментальных исследований, полученных для частных условий обработки, что не позволяет установить общие решения, справедливые для широких диапазонов изменения параметров режимов шлифования, характеристик кругов и т.д. Поэтому необходимо получить аналитические решения, которые лишены указанных недостатков. Научной предпосылкой получения данных решений следует рассматривать теоретический подход к определению параметров силовой напряженности шлифования, предложенный в работе [4].

Цель исследования, постановка задачи. Целью исследования является теоретическое обоснование условий снижения силовой напряженности процесса шлифования материалов повышенной твердости. Для решения данной задачи важно теоретически оценить возможности уменьшения радиальной составляющей силы резания, которая определяет условия внедрения режущего зерна в обрабатываемый материал при микрорезании. Важно также сравнить силы, возникающие в процессе микрорезания единичным зерном и при вдавливании зерна в обрабатываемый материал, что позволит более полно раскрыть возможности снижения силовой напряженности процесса шлифования. Располагая аналитическим решением для определения радиальной составляющей силы резания, можно будет определить фактическую толщину среза при шлифовании, в том числе с учетом упругих перемещений в технологической системе, и ее расхождение с номинальной толщиной среза.

Материалы исследований. Радиальная составляющая силы резания P_y описывается аналитической зависимостью, приведенной в работе [4]:

$$P_y = \frac{2 \cdot \tau_{сдв} \cdot S \cdot \sin(\gamma + \psi)}{[1 - \sin(\gamma + \psi)]}, \quad (1)$$

где $\tau_{сдв}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²;

S – площадь поперечного сечения среза, м²;

γ – отрицательный передний угол режущего абразивного зерна;

ψ – условный угол трения абразивного зерна с материалом.

Рассматривая зерно в форме конуса с углом при вершине 2γ (рис. 1), площадь поперечного сечения среза S с учетом $b = 2a \cdot \operatorname{tg} \gamma$ выразится

$$S = 2a^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (2)$$

где a , b – толщина и ширина среза, м.

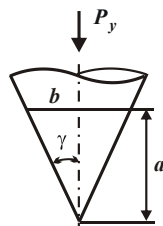


Рис. 1 – Расчетная схема площади поперечного сечения среза

Тогда зависимость (1) с учетом соотношений $\tau_{сдв} \approx 0,5 \cdot \sigma_{сж}$ и $HV \approx 3 \cdot \sigma_{сж}$ (для стали) примет вид

$$P_y = \frac{0,67 \cdot HV \cdot a^2 \cdot \sin(\gamma + \psi) \cdot \operatorname{tg} \gamma}{[1 - \sin(\gamma + \psi)]}, \quad (3)$$

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

HV – твердость обрабатываемого материала (по Виккерсу), Н/м².

Исходя из зависимости (3), радиальная составляющая силы резания P_y определяется главным образом суммой углов $(\gamma + \psi)$. С их увеличением P_y увеличивается, причем, при $(\gamma + \psi) \rightarrow 90^\circ$ – до бесконечности ($P_y \rightarrow \infty$), что связано с прекращением процесса резания (стружкообразования) и осуществлением лишь пластического деформирования обрабатываемого материала. Следовательно, уменьшить P_y можно уменьшением углов γ и ψ , обеспечивая в процессе шлифования высокую остроту режущих зерен.

Сравним радиальную составляющую силы резания P_y с силой P , возникающей при вдавливании зерна в обрабатываемый материал на глубину a :

$$P = \pi \cdot a^2 \cdot \text{tg}^2 \gamma \cdot HV. \quad (4)$$

Таблица 1 – Расчетные значения относительных величин $\frac{P_y}{HV \cdot a^2}$ и $\frac{P}{HV \cdot a^2}$

ψ^0 \ γ^0	30	45	60	70
10	0,7 / 1,05	3,0 / 3,14	18,2 / 9,41	119 / 23,7
20	1,26 / 1,05	6,48 / 3,14	75,2 / 9,41	∞ / 23,7
30	10,9 / 1,05	19 / 3,14	∞ / 9,41	∞ / 23,7

Результаты исследований. В табл. 1 приведены значения относительных величин $\frac{P_y}{HV \cdot a^2}$ (перед чертой) и $\frac{P}{HV \cdot a^2}$ (после черты), рассчитанных соответственно по зависимостям (3) и (4). Как видно, для значений

$\gamma > 30^\circ$ и $\psi > 10^\circ$ справедливо $\frac{P_y}{HV \cdot a^2} > \frac{P}{HV \cdot a^2}$. Следовательно, процесс микрорезания с фиксированной толщиной среза a характеризуется большей силовой напряженностью, чем процесс вдавливания зерна в обрабатываемый материал на глубину a . Этим объясняется то, что процесс шлифования происходит с высокой силовой напряженностью, интенсивным износом зерен и низкой производительностью обработки. Кроме того, под действием P_y (вследствие возникновения в технологической системе упругого перемещения) зерно вытесняется из обрабатываемого материала и процесс резания практически не происходит, т.к. фактическая толщина среза стремится к нулю.

Теоретические результаты подтверждаются экспериментальными данными, приведенными в работе [5], рис. 2. Как следует из рисунка, при микрорезании единичным зерном толщина среза меньше глубины внедрения зерна в обрабатываемый металл в момент прекращения процесса микрорезания. Это соответствует теоретическому решению, согласно которому при одном значении величин P_y и P толщина среза при микрорезании меньше глубины внедрения зерна в обрабатываемый металл при его вдавливании. Таким образом, теоретически обоснованы принципиальные отличия процессов микрорезания и вдавливания неподвижного зерна в обрабатываемый металл. Следовательно, по твердости обрабатываемого материала сложно судить о его обрабатываемости, поскольку зависимости для определения величин P_y и P существенно отличаются. Так, радиальная составляющая силы резания P_y определяется суммой углов $(\gamma + \psi)$, а сила P – лишь углом γ .

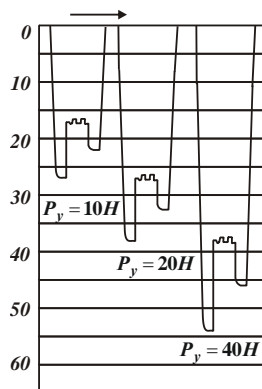


Рис. 2 – Глубина внедрения (в мкм) алмазного конуса $2\gamma = 120^\circ$ в армко-железо (103 HV) при вдавливании, царапании и остановках

При микрорезании вследствие образования упругих перемещений в технологической системе фактическая толщина среза a_ϕ всегда меньше номинальной толщины среза a . В связи с этим важно аналитически оценить степень их отличия на основе условия равенства радиальной составляющей силы резания P_y и упруго-восстанавливающей силы ($c \cdot y$), где c – жесткость технологической системы, Н/м; y – упругое перемещение в системе, м. С учетом (3), рассматривая в ней вместо a фактическую толщину среза a_ϕ , получено

$$c \cdot (a - a_\phi) = \frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot a_\phi^2 \cdot \sin(\gamma + \psi) \cdot \operatorname{tg} \gamma}{[1 - \sin(\gamma + \psi)]}. \quad (6)$$

Решая квадратное уравнение относительно величины a_ϕ , имеем

$$a_\phi = \frac{a}{\left[\sqrt{0,25 + \frac{a \cdot A}{c}} + 0,5 \right]}, \quad (7)$$

где $A = \frac{2 \cdot \sigma_{сж} \cdot \sin(\gamma + \psi) \cdot \operatorname{tg} \gamma}{[1 - \sin(\gamma + \psi)]}$.

При условии $c \rightarrow \infty$ фактическая толщина среза $a_\phi \rightarrow a$, т.е. расчеты по определению величины a_ϕ выполнены правильно. С уменьшением величины A также $a_\phi \rightarrow a$, что связано с уменьшением углов γ и ψ в результате повышения режущей способности круга.

Выводы. В работе получены аналитические зависимости для определения радиальной составляющей силы резания при микрорезании единичным зерном и силы вдавливания неподвижного зерна в обрабатываемый металл. Показано, что при одинаковом значении этих сил толщина среза при микрорезании всегда меньше глубины внедрения зерна в металл при вдавливании. Установлено также, что повысить эффективность шлифования с точки зрения снижения силовой напряженности процесса можно главным образом за счет обеспечения высокой режущей способности круга.

Список литературы: 1. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с. 2. Попов С.А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С.А. Попов, Н.П. Малевский, Л.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 3. Анділахай В.О. Підвищення ефективності шліфування наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / В.О. Анділахай. – Маріуполь, 2011. – 21 с. 4. Новиков Ф.В. Теоретический анализ параметров силовой напряженности струйно-абразивной обработки / Ф.В. Новиков, А.А. Анділахай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 7 (166). – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 46-53. 5. Синтетические алмазы в машиностроении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1976. – 351 с.

Поступила в редколлегию 4.10.2012г.