

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ

**Иванов И.Е.**, канд. техн. наук

*(Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь)*

*Обоснованы условия повышения производительности обработки при круглом шлифовании крупногабаритных деталей из труднообрабатываемых материалов на основе оптимизации режимов резания*

**Введение и постановка задачи.** Повышение производительности обработки при шлифовании деталей из труднообрабатываемых материалов является важнейшей задачей машиностроения. Это связано с тем, что такие материалы как твердые сплавы, технические керамики, наплавочные материалы твердостью HRC 60...63 обрабатываются исключительно шлифованием. Процесс протекает с высокой силовой и тепловой напряженностью, что снижает производительность и качество обработки [1-4]. В особой мере это относится к процессу круглого шлифования контактных поверхностей крупногабаритных деталей металлургического назначения с износостойкими наплавленными материалами твердостью свыше HRC 60. Поэтому изыскание новых технологических возможностей шлифования деталей из труднообрабатываемых материалов требует проведения дальнейших теоретических экспериментальных исследований по установлению новых физических эффектов обработки.

**Цель работы** – обоснование путей повышения производительности обработки при круглом шлифовании крупногабаритных деталей из труднообрабатываемых материалов на основе оптимизации режимов резания.

**Результаты исследований.** В общем случае производительность обработки  $Q$  при круглом шлифовании определяется зависимостью

$$Q = S_{\text{дл}} \cdot V_{\text{дл}} \cdot t, \quad (1)$$

где  $S_{\text{дл}}$  – продольная подача, м/об;  $V_{\text{дл}}$  – скорость детали м/с;  $t$  – глубина шлифования, м.

Очевидно, увеличить  $Q$  можно увеличением всех входящих в данную зависимость параметров. Однако, как показывает практика, увеличить беспрельдно производительность  $Q$  нельзя, она имеет конечное значение, обусловленное проявлением различных по природе факторов: износа круга, образования в технологической системе упругих перемещений и колебаний (которые могут привести к остановке электродвигателя или поломке станка); тепловыделения в зоне резания и образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и других температурных дефектов и т.п. Поэтому производительность обработки  $Q$  должна быть ограничена. При глубинном шлифовании основным ограничивающим фактором следует рассматривать предельную толщину среза, обу-

словленную прочностными свойствами рабочей поверхности круга (прочностью зерен и связки). Естественно, для каждого обрабатываемого материала предельная толщина среза различна. В работе [5] получены аналитические зависимости для определения максимально возможной производительности обработки  $Q$  и реализующей ее скорости детали  $V_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}}$  при круглом наружном шлифовании с учетом ограничения по предельной толщине среза  $a_z$ :

$$Q = \frac{tg\gamma \cdot k_0 \cdot B \cdot a_z^3 \cdot V_{\dot{e}\ddot{d}}}{b} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot t}{\rho}}; \quad (2)$$

$$V_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}} = \frac{Q}{B \cdot t} = \frac{tg\gamma \cdot k_0 \cdot B \cdot a_z^3 \cdot V_{\dot{e}\ddot{d}}}{b} \cdot \sqrt{\frac{2}{t \cdot \rho}}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – половина угла при вершине конусообразного режущего зерна;  $k_0$  – количество зерен, расположенных на единице площади рабочей поверхности круга, шт/м<sup>2</sup>;  $b$  – высота выступания режущего зерна над уровнем связки круга, м;  $B$  – ширина шлифования, м;  $t$  – глубина шлифования, м;  $\rho = 1/R_{\dot{e}\ddot{d}} + 1/R_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}}$ ;  $R_{\dot{e}\ddot{d}}, R_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}}$  – соответственно радиусы круга и детали, м;  $V_{\dot{e}\ddot{d}}$  – скорость круга, м/с.

Как видно, максимально возможная производительность обработки  $Q$  тем больше, чем больше параметры  $\gamma$ ,  $k_0$ ,  $B$ ,  $a_z$ ,  $t$  и меньше  $b$ . Скорость детали  $V_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}}$ , в отличие от производительности обработки  $Q$ , с увеличением глубины шлифования  $t$  уменьшается. Следовательно, применение глубинного шлифования позволяет в максимальной степени реализовать прочностные свойства рабочей поверхности круга, обобщенно определяемые предельной толщиной среза.

При многопроходном шлифовании в условиях небольших глубин шлифования и увеличенных (по сравнению с глубинным шлифованием) значениях скорости детали  $V_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{d}}$  ограничение по предельной толщине среза может иметь место при высокой жесткости технологической системы. При низкой жесткости системы (в условиях образования значительных упругих перемещений), как показано в работе [6], существует значение упругого перемещения  $\acute{o}_{\acute{o}\ddot{n}\ddot{d}}$ , при котором процесс шлифования стабилизируется во времени (по проходам  $n$ , рис. 1). В этом случае основным ограничивающим фактором процесса следует рассматривать величину упругого перемещения (начального натяга в технологической системе)

или радиальную составляющую силы резания  $D_{\acute{o}}$  (радиальное усилие).

Исходя из работы [6], величина  $\acute{o}_{\acute{o}\ddot{n}\ddot{d}}$  определяется зависимостью

$$\acute{o}_{\acute{o}\ddot{n}\ddot{d}} = \frac{\sigma \cdot Q}{\tilde{n} \cdot \hat{E}_{\phi} \cdot V_{\dot{e}\ddot{d}}} \quad \text{или} \quad (4)$$

$$D_{\acute{o}} = \tilde{n} \cdot \acute{o}_{\acute{o}\ddot{n}\ddot{d}} = \frac{\sigma \cdot Q}{\hat{E}_{\phi} \cdot V_{\dot{e}\ddot{d}}}, \quad (5)$$

где  $\tilde{n}$  – жесткость технологической си-

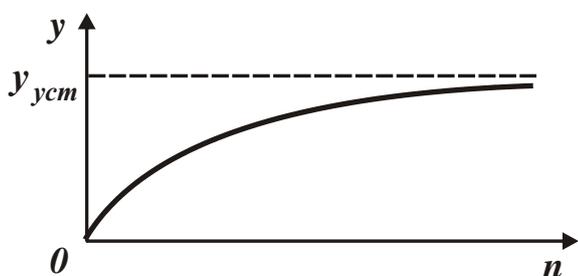


Рис. 1. Характер изменения величины упругого перемещения  $y$  в зависимости от количества проходов  $n$ .

стемы, Н/м;  $\hat{E}_\phi = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н;  $\sigma$  – условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>.

Задавая значения  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$  или  $D_\phi$  из зависимостей (4) или (5) несложно установить максимально возможную производительность обработки  $Q$ :

$$Q = \frac{c \cdot \hat{E}_\phi \cdot V_{\acute{e}\delta} \cdot \acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}}{\sigma} \quad \text{или} \quad (6)$$

$$Q = \frac{\hat{E}_\phi \cdot V_{\acute{e}\delta} \cdot D_\phi}{\sigma}. \quad (7)$$

В данном случае максимально возможная производительность обработки  $Q$  тем больше, чем больше параметры  $\tilde{n}$ ,  $\hat{E}_\phi$ ,  $V_{\acute{e}\delta}$ ,  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$  и меньше  $\sigma$  или, исходя из зависимости (7), чем больше радиальное усилие  $D_\phi$ . В итоге пришли, по сути, к упругой схеме шлифования, поскольку роль величины начального натяга в технологической системе  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$  выполняет радиальное усилие  $D_\phi$  – за счет которого и создается начальный натяг  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$ .

Как видно, производительность обработки при шлифовании по жесткой схеме в зависимости от ограничивающего фактора описывается различными аналитическими зависимостями (2) и (7). В условиях низкой жесткости технологической системы производительность обработки  $Q$  всецело определяется радиальным усилием  $D_\phi$  согласно зависимости (7). Параметры режима шлифования: глубина шлифования  $t$ , продольная подача  $S_{i\delta\grave{a}\grave{a}}$  и скорость детали  $V_{\acute{a}\acute{a}\delta}$  в зависимость (7) не входят. Это позволяет рассматривать данную жесткую схему шлифования как упругую схему шлифования. С этой точки зрения жесткая и упругая схемы шлифования равносильны. Для практической реализации жесткой схемы шлифования необходимо в технологической системе создать начальный натяг  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$  и в процессе шлифования его постоянно поддерживать. Глубину шлифования  $t$  на каждом проходе круга необходимо устанавливать в соответствии с зависимостью

$$t = \frac{Q}{B \cdot V_{\acute{a}\acute{a}\delta}} = \frac{\hat{E}_\phi \cdot V_{\acute{e}\delta} \cdot D_\phi}{\sigma \cdot B \cdot V_{\acute{a}\acute{a}\delta}} \quad (8)$$

для заданных значений  $B$ ,  $V_{\acute{a}\acute{a}\delta}$  и  $D_\phi = \tilde{n} \cdot \acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$ .

При низкой жесткости технологической системы величина  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta}$  может многократно превышать глубину шлифования  $t$ , тогда как при увеличенной жесткости технологической системы  $\acute{o}_{\phi\tilde{n}\delta} < t$ .

Производительность обработки  $Q$  может быть также представлена

$$Q = \pi \cdot D_{\acute{a}\acute{a}\delta} \cdot S_{i\delta} \cdot t, \quad (9)$$

где  $D_{\acute{a}\acute{a}\delta}$  – диаметр детали, м;  $S_{i\delta}$  – скорость продольной подачи, м/с.

При круглом шлифовании крупногабаритной детали заданную производительность обработки  $Q$  в связи с увеличенным диаметром детали  $D_{\acute{a}\acute{a}\delta}$  можно

обеспечить за счет существенного уменьшения  $S_{i\delta i\ddot{a}}$ . Скорость детали  $V_{\ddot{a}\ddot{a}\delta}$  в этом случае не входит в зависимость (9) и, следовательно, не влияет на  $Q$ : она может изменяться в широких пределах, выполняя чисто технологические функции. Например, обеспечивать необходимую продольную подачу на оборот детали  $S_{i\delta i\ddot{a}}$ . Тогда

$$V_{\ddot{a}\ddot{a}\delta} = S_{i\delta} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\ddot{a}\ddot{a}\delta}}{S_{i\delta i\ddot{a}}}. \quad (10)$$

В данной зависимости все три параметра заданы, что позволяет вполне однозначно определить  $V_{\ddot{a}\ddot{a}\delta}$ .

На основе описанного подхода к определению условий обработки при шлифовании с низкой жесткостью технологической системы разработан и реализован на практике технологический процесс круглого шлифования контактных поверхностей крупногабаритных деталей металлургического назначения (малых и больших конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей) с износостойкими наплавленными материалами [7]. Процесс осуществляется с применением крупнозернистых абразивных кругов, работающих в режиме интенсивного износа и самозатачивания, что обеспечивает высокую режущую способность круга и возможность стабильного протекания во времени процесса шлифования.

Вместе с тем, как показывает производственный опыт, трудоемкость процесса шлифования остается достаточно высокой, поскольку приходится удалять значительный припуск – 5...7 мм на сторону. Попытки увеличения производительности обработки за счет увеличения начального натяга в технологической системе  $\delta_{\delta\ddot{a}\delta}$  положительных результатов не дает, т.к. при этом, во-первых, увеличивается износ круга до неприемлемого уровня. Во-вторых, в технологической системе возникают интенсивные вибрации, что ухудшает процесс съема припуска и нарушает стабильность протекания процесса шлифования. Это требует проведения дальнейших исследований по определению путей устранения колебаний в технологической системе и снижения интенсивности износа круга в условиях высокопроизводительного шлифования.

**Выводы.** Теоретически определены условия повышения производительности обработки при круглом шлифовании с учетом ограничения по предельной толщине среза отдельным зерном круга и с учетом ограничения по величине начального натяга в технологической системе при шлифовании с низкой жесткостью системы. Доказано, что во втором случае по уровню производительности обработки жесткая и упругая схемы шлифования равносильны. При этом производительность определяется главным образом начальным натягом в технологической системе и соответственно величиной радиального усилия. Полученные теоретические решения позволяют обосновать закономерности устойчивого протекания процесса шлифования во времени и правильно определить наивыгоднейшие режимы резания при шлифовании. Результаты исследований использованы в производстве для совершенствования технологического процесса круглого шлифования контактных поверхностей крупногабаритных деталей металлургического назначения с износостойкими наплавленными материалами.

## Список литературы

1. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей / А.В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1984. – 212 с.
2. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
3. Попов С.А. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов / С.А. Попов, Н.П. Малевский, Л.М. Терещенко. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с.
4. Рыбицкий В.А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В.А. Рыбицкий. – К.: Общество ”Знание” УССР, 1987. – 23 с.
5. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. ”Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
7. Андилахай В.А. Выбор оптимальной схемы шлифования контактных (наплавленных) поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения / В.А. Андилахай // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – 2010. – С. 119-124.

## Анотація

### **Підвищення продуктивності обробки при круглому шліфуванні великогабаритних деталей**

*Обґрунтовано умови підвищення продуктивності обробки при круглому шліфуванні великогабаритних деталей з важкооброблюваних матеріалів на основі оптимізації режимів різання*

## Abstract

### **Increase of the productivity of treatment at the round polishing of krupnogabaritnykh details**

*The terms of increase of the productivity of treatment at the round polishing of krupnogabaritnykh details are Grounded from hard-processing materials on the basis of optimization of the cutting modes*