

УДК 621.923

**Ф. В. НОВИКОВ**, д-р техн. наук, проф., ХНЭУ, Харьков;  
**В.И. ПОЛЯНСКИЙ**, директор ООО "Империя металлов", Харьков;  
**И.А. РЯБЕНКОВ**, канд. техн. наук, ГП ХМЗ "ФЭД", Харьков

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИ НИЗКОЙ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Произведена оценка влияния интенсивности трения связи круга с обрабатываемым материалом на величину упругого перемещения в технологической системе и производительность обработки. Теоретически и экспериментально обоснованы условия повышения производительности шлифования при низкой жесткости технологической системы

**Ключевые слова:** шлифование, условное напряжение резания, упругое перемещение, сила резания, производительность обработки

**Введение.** Как известно, низкая жесткость технологической системы при шлифовании приводит к снижению производительности обработки. В значительной степени это проявляется при внутреннем шлифовании, характеризующемся весьма низкими показателями жесткости и производительности обработки, в особенности по мере износа и затупления круга. В связи с этим важно знать основные закономерности образования упругих перемещений в технологической системе и условия управления ими в процессе шлифования. Это позволит снизить или даже исключить отрицательную роль упругих перемещений при шлифовании и повысить производительность обработки.

**Анализ основных достижений и литературы.** Проблеме шлифования при относительно низкой жесткости технологической системы в научно-технической литературе уделено большое внимание [1, 2]. Разработаны эффективные автоматизированные циклы шлифования, позволяющие управлять упругими перемещениями в технологической системе и таким образом интенсифицировать процесс обработки [3]. Однако до настоящего времени фактически отсутствуют теоретические решения, позволяющие научно обоснованно подойти к выбору оптимальных вариантов шлифования при относительно низкой жесткости технологической системы, что ограничивает возможности повышения производительности и качества обработки.

**Цель исследования, постановка задачи.** Целью работы является определение путей повышения производительности обработки при внутреннем шлифовании, характеризующемся низкой жесткостью технологической системы. Для решения поставленной задачи произведена экспериментальная оценка силовой напряженности процесса внутреннего шлифования отверстий в кольцах из высокотвердого магнитного сплава АНКО-3А (*HRC* 62–63) и на основе полученных результатов определены оптимальные условия обработки.

**Материалы исследования.** Одним из основных отличий процесса шлифования от процессов лезвийной обработки является наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом, что приводит к увеличению силы и температуры резания и снижению качества и производительности обработки. Для количественного анализа данного явления воспользуемся результатами теоретических исследований условного напряжения резания  $\sigma = \sigma_p + \sigma_{mp}$  с учетом процессов резания ( $\sigma_p$ ) и трения ( $\sigma_{mp}$ ) при шлифовании [4]:

$$\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\sigma_p}{K_{шp}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right)}, \quad (1)$$

где  $K_{ш} = P_z / P_y$  – коэффициент шлифования;

$P_z, P_y$  – тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;

$\sigma_p, K_{шp}$  – соответственно составляющие условного напряжения резания и коэффициента шлифования, обусловленные процессом “чистого” резания абразивными зёрнами;

$P_{y_{mp}}$  – составляющая силы  $P_y$ , обусловленная процессом трения связки круга с обрабатываемым материалом.

Величина упругого перемещения при установившемся во времени процессе шлифования определится:

$$y_{уст} = \frac{\sigma_p}{K_{шp}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{y_{mp}}}{P_y}\right)} \cdot \frac{Q}{c \cdot V_{кр}}, \quad (2)$$

где  $Q$  – производительность обработки, м<sup>3</sup>/с;

$V_{кр}$  – скорость круга, м/с;

$c$  – жесткость технологической системы, Н/м.

По мере износа и затупления зерен круга отношение  $\sigma_p / K_{шp}$  будет увеличиваться вследствие увеличения  $\sigma_p$  и уменьшения  $K_{шp}$ , а высоты выступания зерен над связкой будут уменьшаться, что приведет к контакту обрабатываемого материала со связкой круга. В итоге в энергетическом балансе шлифования появится составляющая, обусловленная силой трения связки круга с материалом  $P_{y_{mp}}$ , что вызовет увеличение  $P_{y_{mp}} / P_y$ , а в соответствии с (2) – увеличение  $y_{уст}$ . Преобразуем (2) с учетом соотношения  $P_y = c \cdot y_{уст}$

$$y_{уст} = \frac{P_{y_{mp}}}{c} + \frac{\sigma_p}{K_{уп}} \cdot \frac{Q}{c \cdot V_{кр}}. \quad (3)$$

В данном случае величина  $y_{уст}$  состоит из двух слагаемых, первое из которых обусловлено трением связки круга с обрабатываемым материалом, а второе – процессом резания. Как следует из зависимости (3), с увеличением составляющей силы  $P_{y_{mp}}$  величина упругого перемещения (начального натяга в технологической системе)  $y_{уст}$  увеличивается при заданной производительности обработки  $Q$ . Следовательно, наличие трения связки круга с обрабатываемым материалом приводит к существенному увеличению  $y_{уст}$  и соответственно нарушению нормального протекания процесса шлифования. Поэтому необходимо стремиться к полному устранению из процесса шлифования или хотя бы к частичному уменьшению величины  $P_{y_{mp}}$ .

Из зависимости (3) также следует, что при заданном значении  $P_y$  (соответственно  $y_{уст}$ ) увеличение  $P_{y_{mp}}$  приводит к уменьшению производительности  $Q$ . Зависимость (3) в этом случае после преобразований принимает вид

$$Q = \frac{K_{уп}}{\sigma_p} \cdot V_{кр} \cdot (P_y - P_{y_{mp}}). \quad (4)$$

При условии  $P_{y_{mp}} \rightarrow P_y$  производительность обработки  $Q \rightarrow 0$ , т.е. увеличить  $Q$  можно увеличением  $(P_y - P_{y_{mp}})$  за счет уменьшения  $P_{y_{mp}}$ . Полученная зависимость (4) согласуется с известными экспериментальными данными [5]. По физической сути зависимость (4) описывает производительность шлифования по упругой схеме. Из этого можно сделать вывод, что процесс шлифования по жесткой схеме (при недостаточной жесткости технологической системы) аналитически описывается теми же зависимостями (3) и (4), что и процесс шлифования по упругой схеме. Чем больше  $(P_y - P_{y_{mp}})$ , тем больше производительность обработки. В связи с этим рассмотрим процесс шлифования по упругой схеме. Очевидно, с увеличением  $P_y$  первоначально  $P_{y_{mp}}$  будет незначительна, а  $Q$  будет определяться значением  $P_y$ : чем оно больше, тем больше  $Q$ . При достижении определенного значения  $P_y$  в связи с недостаточной режущей способностью круга в контакт с обрабатываемым материалом вступит связка, что вызовет увеличение величины  $P_{y_{mp}}$ . В результате производительность обработки  $Q$  будет оставаться постоянной с увеличением  $P_y$  или уменьшаться.

Используя приведенные выше решения, произведем экспериментальную оценку силовой напряженности процесса внутреннего шлифования отверстий в кольцах из высокотвердого магнитного сплава АНКО-3А (*HRC* 62–63) и на основе полученных результатов определим оптимальные условия обработки. Экспериментальные исследования проводились на внутришлифовальном станке мод. WOUWARD-55 с использованием абразивного круга ПП 8x20x3 25А 25Н СТ 7К5 35 м/с. Шлифование осуществлялось по жесткой схеме с режимом резания: скорость вращения круга –  $V_{кр} = 16,7$  м/с (частота вращения круга – 40000 об/мин), продольная подача  $S_{прод} = 2$  м/мин, частота вращения обрабатываемой детали –  $n = 600$  об/мин, глубина шлифования  $t = 0,05$  мм (на двойной ход стола), через 5–10 проходов производится выхаживание.

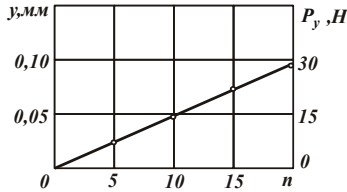


Рис. 1 – Зависимость  $y$  и  $P_y$  от количества проходов круга  $n$

Величина упругого перемещения  $y$ , возникающего в технологической системе, устанавливалась по разности подводимого в зону резания и снятого материала. Как следует из рис. 1, величина  $y$  увеличивается практически по линейной зависимости с увеличением количества проходов круга  $n$ . Это связано со значительным расхождением фактической и номинальной глубин шлифования. Их отношение  $t_{\phi} / t$  приблизительно равно 0,07 (рис. 2), т.е. номинальная глубина шлифования  $t$  превышает фактическую глубину шлифования  $t_{\phi}$  в 14,3 раз. Причиной тому является высокая твердость обрабатываемого материала и быстрая потеря режущей способности абразивного круга, в результате чего происходит интенсивное трение связи круга с обрабатываемым материалом. Достаточно отметить, что производительность обработки при этом ничтожно мала и составляет всего  $Q = 0,4$  мм<sup>3</sup>/мин (рис. 2).

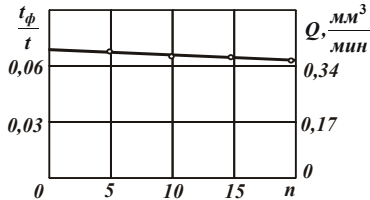


Рис. 2 – Зависимость  $t_{\phi} / t$  и  $Q$  от количества проходов круга  $n$

Исходя из зависимости (4), это указывает на то, что фактически выполняется условие  $P_{y_{mp}} \rightarrow P_y$ , в результате чего производительность обработки  $Q \rightarrow 0$ . Низкий уровень производительности обработки обусловлен также небольшой жесткостью системы шлифовального круга в поперечном направлении, которая, как установлено экспериментально, равна  $c = 300$  Н/мм. Радиальная составляющая силы резания  $P_y = c \cdot y$ , исходя из рис. 1, с увеличением количества проходов круга  $n$  изменяется по закону изменения величины упругого перемещения  $y$  и при  $n = 20$  равна 30 Н.

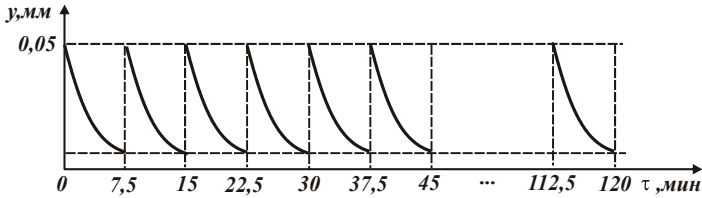


Рис. 3 – Характер изменения величины  $y$  с течением времени обработки  $\tau$

Естественно, осуществление процесса шлифования в таких условиях малоэффективно, особенно если учесть, что величина упругого перемещения  $y$  не может увеличиваться беспрестанно с увеличением  $n$ . Как установлено экспериментально, она может изменяться лишь в пределах 0,05...0,1 мм, исходя из прочности и жесткости станка. Поэтому в данных условиях жесткую схему шлифования использовать нецелесообразно. Следует перейти к упругой схеме шлифования, создавая в технологической системе периодически натяги и осуществляя обработку, по сути, по схеме выхаживания. Данная схема является наиболее оптимальной при шлифовании с низкой жесткостью технологической системы, т.к. обеспечивает наибольшую производительность при заданной точности обработки. Экспериментально установлено, что для нормального протекания процесса внутреннего шлифования эффективно в технологической системе создавать начальный натяг на уровне 0,05 мм. Тогда съём припуска величиной 0,8 мм может быть произведен за 16 этапов создания в технологической системе начальных натягов (рис. 3). Продолжительность каждого этапа составляет приблизительно  $\tau = 7,5$  минут, в результате чего припуск величиной 0,8 мм удаляется за 120 минут (2 часа). По действующей технологии внутреннего шлифования (по жесткой схеме), продолжительность обработки составляет 3,2 часа. Таким образом доказано, что переход от жесткой схемы шлифования к упругой схеме позволяет сократить время обработки более чем в 1,5 раза.

**Выводы.** Получена аналитическая зависимость для определения производительности обработки при шлифовании по жесткой схеме в условиях интенсивного трения связки круга с обрабатываемым материалом и наличия упругих перемещений в технологической системе. Установлено, что увеличить производительность обработки в этих условиях можно повышением

режущей способности круга, скорости круга и уменьшением радиальной составляющей силы резания, обусловленной трением связки круга с обрабатываемым материалом. Проведен комплекс экспериментальных исследований технологических параметров процесса внутреннего шлифования отверстий в кольцах из высокотвердого магнитного сплава АНКО-3А (HRC 62–63). Установлено, что в данном случае в связи с высокой твердостью обрабатываемого материала шлифовальный круг быстро теряет режущую способность, в результате чего отношение фактической и номинальной глубин шлифования небольшое и приблизительно равно 0,07, а производительность обработки составляет всего 0,4 мм<sup>3</sup>/мин. Исходя из этого предложено перейти к упругой схеме шлифования, создавая в технологической системе периодически натяги и осуществляя обработку, по сути, по схеме выхаживания. Это позволяет сократить время обработки более чем в 1,5 раза.

**Список литературы:** 1. Балакишин Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакишин. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с. 2. Колев К.С. Точность обработки и режимы резания / К.С. Колев, Л.М. Горчаков. – М.: Машиностроение, 1976. – 144 с. 3. Лурье Г.Б. Шлифование металлов / Г.Б. Лурье. – М.: Машиностроение, 1969. – 197 с. 4. Новиков Ф.В. Теоретический анализ энергоемкости обработки при шлифовании / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Труды 17-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2011. – С. 14-18. 5. Новиков Ф.В. Определение условий уменьшения погрешностей механической обработки отверстий / Ф.В. Новиков, А.Н. Ковальчук, И.А. Рябенков // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2009. – Вып. 11. – С. 273-279.

*Поступила в редколлегию 4.06.2012*

УДК 621.923

**Повышение производительности шлифования при низкой жесткости технологической системы / Ф. В. Новиков, В. И. Полянский, И. А. Рябенков // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2012. – № 53(959). – С.48-53. – Бібліогр.: 5 назв.**

Виконано оцінку впливу інтенсивності тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом на величину пружного переміщення в технологічній системі й продуктивність обробки. Теоретично й експериментально обґрунтовані умови підвищення продуктивності шліфування при низькій жорсткості технологічної системи

**Ключові слова:** шліфування, умовна напруга різання, пружне переміщення, сила різання, продуктивність обробки

The evaluation of the influence of the intensity of the friction circle bundles with the processed material by the value of the elastic displacement in the technological system and productivity. Theoretically and experimentally proved conditions for increasing productivity STI sand at low stringency of the technological system

**Keywords:** grinding, cutting apparent stress, elastic movement, cutting force, the processing performance