

А.А. Якимов, д-р техн. наук, Л.В. Бовнегра, канд. техн. наук,  
Ю.В. Шихирева, канд. техн. наук, Е.Г. Павлышко,  
М.В. Королькова, Одесса, Україна

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ**

**Аннотация.** *Высокая теплонпряженность процесса шлифования вызывает снижение показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. Снизить теплонпряженность можно применением прерывистых шлифовальных кругов. Но работа этих кругов сопровождается периодическим изменением жесткости упругой системы плоскошлифовального станка и, как следствие, возникновением в ней периодических колебаний. Эти колебания способны вызвать в ней появление периодических дефектов — циклических прижогов и волнистости на обрабатываемых поверхностях. В статье выявлены условия ухудшения геометрических и физико-механических параметров качества поверхности деталей при прерывистом шлифовании и предложены пути их предотвращения. Обоснована целесообразность использования прерывистых кругов с наклонными пазами и кругов со спиральными канавками на рабочих поверхностях.*

**Ключевые слова:** *параметрическая неустойчивость; прерывистый круг; температура шлифования; коэффициент прерывистости; зона резания; упругая система станка.*

Наиболее распространенным методом окончательной обработки высокоточных ответственных деталей является шлифование. На операции шлифования в основном формируются точность, шероховатость поверхности и физико-механическое состояние поверхностного слоя, определяющие эксплуатационные свойства деталей. В силу чрезмерной теплонпряженности этого метода обработки на поверхности детали появляются шлифовочные дефекты (прижоги и трещины), которые в ряде случаев, в процессе эксплуатации машин снижают их долговечность. В связи с этим изыскание условий и методов шлифования, исключающих полностью или частично дефекты шлифования, является серьезной задачей и имеет большое теоретическое и практическое значение.

Предотвращение появления на обрабатываемых поверхностях шлифовочных дефектов, возможно при применении прерывистого шлифования, сущность которого отражена в работах [1, 2, 3, 4 и др.]. В этих работах подробно описаны преимущества способа прерывистого шлифования по сравнению с обычным.

Одним из существенных недостатков прерывистых абразивных кругов является несовершенство технологии их изготовления, которая сводится к прорезке пазов на заточных станках, оснащенных делительными устройствами.

---

© А.А. Якимов, Л.В. Бовнегра, Ю.В. Шихирева, Е.Г. Павлышко, М.В. Королькова, 2019

При шлифовании прерывистыми кругами могут возникнуть ударный и параметрический резонансы, обусловленные совпадением частоты импульсного возмущения с одной из собственных частот упругой системы станка и периодическим изменением силы резания. Это приводит к ухудшению макро- и микрогеометрии шлифованных поверхностей [5, 10, 11]. Увеличение шероховатости поверхности и появление на ней волнистости снижает эксплуатационные свойства деталей. Из-за указанных недостатков круги с прерывистой рабочей поверхностью не находят широкого применения в металлообрабатывающей промышленности. Поиск путей устранения этих недостатков является актуальной задачей.

Целью работы является определение путей обеспечения требуемых геометрических параметров качества поверхностного слоя деталей, обрабатываемых прерывистыми шлифовальными кругами, и снижения трудоёмкости изготовления этих кругов.

В работе [5] расчетно-экспериментальным путём определены условия возникновения в упругой системе станка ЗГ71 параметрического резонанса в процессе шлифования плоских заготовок кругами с прерывистой рабочей поверхностью (рис. 1).

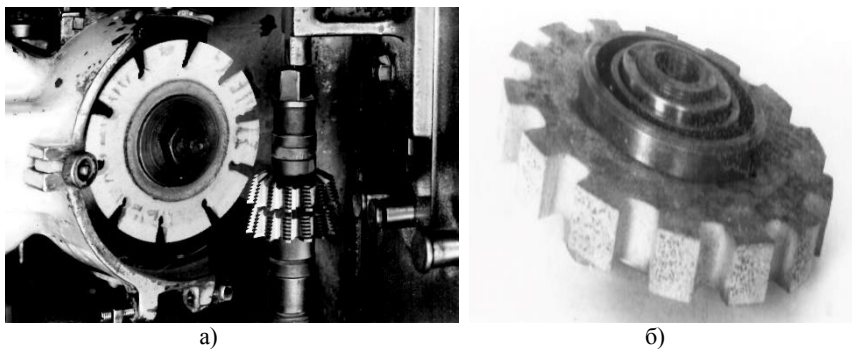


Рисунок 1 – Абразивные прерываемые круги, применяемые при заточке фрез для обработки ёлочных замков газотурбинных лопаток (а) и для шлифования плоских поверхностей (б)

На рис. 2 (а), (б) показаны области параметрической неустойчивости упругой системы плоскошлифовального станка, построенные в плоской системе координат ( $K_{пр}$ ,  $K_0$ ), где  $K_{пр}$  – коэффициент прерывистости, численно равный величине отношения протяжённости впадины  $l_2$  к длине режущего выступа  $l_1$ ;

$$K_0 = c_0 \left( \frac{t_\phi}{t_d} - 1 \right) - \text{динамическая жёсткость резания}; \quad (1)$$

$t_d$  и  $t_\phi$  – глубина резания, установленная по лимбу станка и фактическая глубина резания соответственно;

$c_0$  – жёсткость упругой системы, кг/м;

$n$  – число впадин на шлифовальном круге;

$K_c$  - собственная частота колебаний упругой системы.

Из рис. 2 (а), (б) видно, что увеличение динамической жёсткости резания  $K_0$  приводит к расширению границ областей параметрической неустойчивости.

Расчёты по формулам (1), (2), (3) позволили построить зоны параметрической неустойчивости в системе координат ( $K_{пр}$ ,  $K_0$ ) (рис. 2, в).

Из рис. 2 (а), (б) [5] и наших исследований (рис. 2, в) прослеживается общая закономерность: с увеличением динамической жёсткости резания  $K_0$  происходит расширение границ областей неустойчивых состояний упругой системы плоскошлифовального станка модели ЗГ71. Вместе с тем существует противоречивость между данными, представленными в работе [5] и результатами наших исследований. Из рис. 2 а, б [5] следует, что в интервале чисел режущих выступов  $5 \leq n \leq 17$  параметрический резонанс возможен только в случаях, когда  $K_{пр} > 0,6$ .

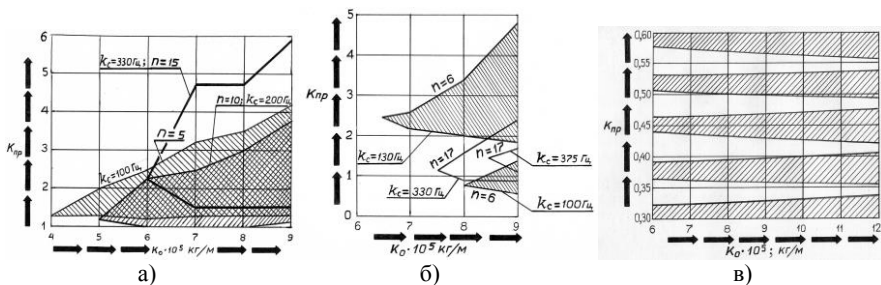


Рисунок 2 – Области параметрической неустойчивости упругой системы плоскошлифовального станка модели ЗГ71М, возникающие при обработке прерывистыми кругами с 5, 10, 15 (а) с 6, 17 (б) и с 11, 12, 13, 14, 15 (в) прорезями на рабочих поверхностях

Наши исследования показали, что в диапазоне  $11 \leq n \leq 15$  параметрический резонанс возможен при  $0,3 \leq K_{пр} \leq 0,6$  (Рис. 2, в). Возможность возникновения параметрического резонанса при шлифовании прерывистыми кругами в диапазоне изменения коэффициента прерывистости  $0,3 \leq K_{пр} \leq 0,6$  подтверждается данными, представленными на рис. 3, 4.

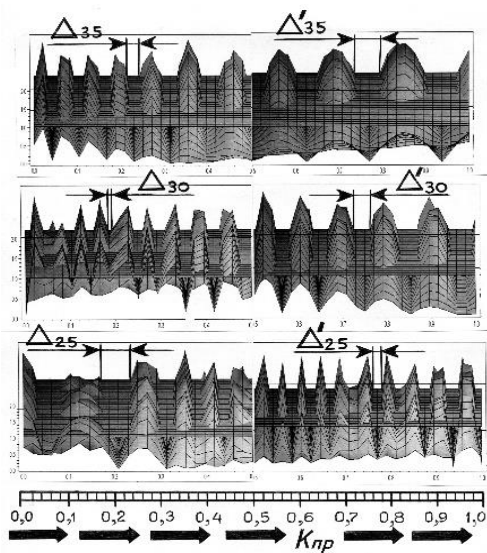


Рисунок 3 – Неустойчивые состояния упругой системы, возникающие при разных условиях плоского прерывистого шлифования на станке модели ЗГ71М

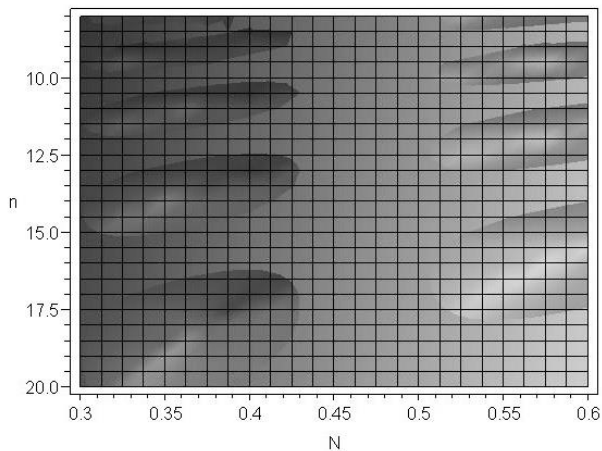


Рисунок 4 – Области параметрической неустойчивости упругой системы станка в плоской системе координат  $(n, N)$ , где  $n$  – число впадин на прерывистом круге,  $N$  – величина отношения протяжённости впадины к длине режущего выступа

На рис. 3 показаны объёмные зависимости

$$L = f(n, K_{пр}), \quad \frac{1+M}{2} = f(n, K_{пр}), \quad (2)$$

расчитанные для различных условий прерывистого шлифования, где  $L$  и  $\frac{1+M}{2}$  – соответственно левая и правая части условия параметрической неустойчивости упругой системы станка [1]. Границами областей неустойчивых состояний упругой системы являются линии пересечения плоской (параметр  $\frac{1+M}{2}$ ) и волнообразной (параметр  $L$ ) поверхностей. На рис.4 границы зон параметрической неустойчивости выглядят в виде эллипсов, построенных в плоской системе координат ( $n, K_{пр}$ ) в диапазоне изменения коэффициента прерывистости  $0,3 \leq K_{пр} \leq 0,6$ .

На рис. 5 показаны зоны устойчивой работы упругой системы станка в виде искривления полос I, II, III, IV, V, VI, которые представляют собой такие совокупности  $K_{пр}$  и  $n$ , при которых параметрический резонанс не возникает. Из этого рисунка видно, что ширина этих зон и степень их искривлённости возрастают в направлении увеличения количества прорезей на шлифовальном круге.

Из рис. 6 видно, что уменьшение режущей способности шлифовального круга (т.е. возрастание величины отношения глубины резания, установленной по лимбу станка  $t_n$ , к фактической глубине резания  $t_f$ ) смещает области устойчивой работы V и VI в сторону возрастания числа прорезей  $n$  на круге. Так как по мере затупления режущего микрорельефа рабочей поверхности инструмента невозможно увеличивать число впадин на нем, то «заслаивание» круга в процессе его работы приводит к возникновению резонанса в упругой системе станка.

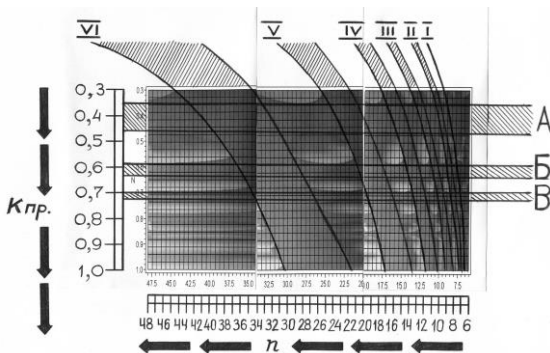


Рисунок 5 – Области, соответствующие устойчивым состояниям упругой системы станка (заштрихованные зоны)

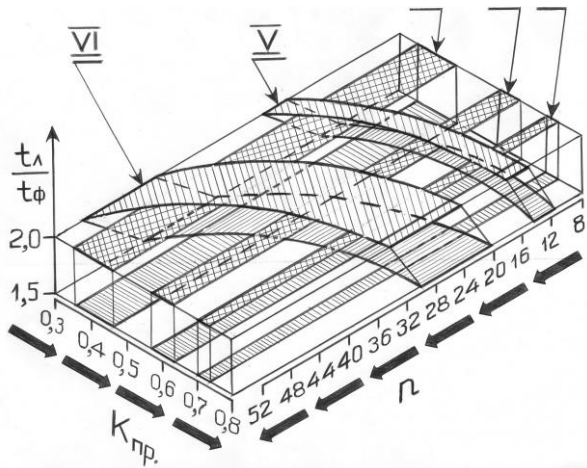


Рисунок 6 – Смещение криволинейных зон (V и VI) устойчивой работы упругой системы станка в направлении возрастания числа режущих выступов  $n$  на прерывистом круге при увеличении отношения  $t_l / t_\phi$  (т.е. при снижении режущей способности шлифовального инструмента)

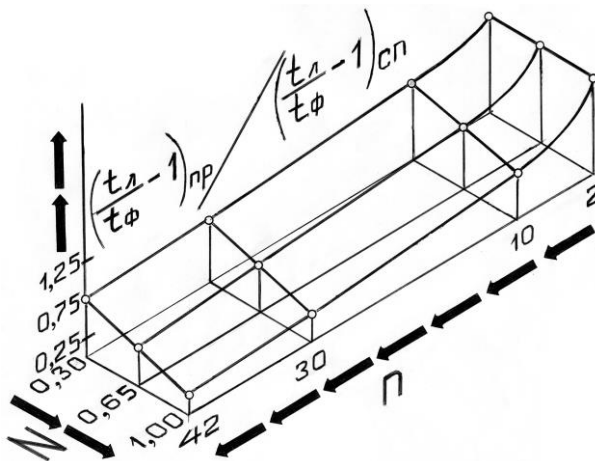


Рисунок 7 – Влияние количества впадин и выступов  $n$  на прерывистом круге и отношений их длин  $N$  на величину показателя  $(\frac{t_l}{t_\phi} - 1)_{пр}$ , характеризующего эффективность работы абразивного инструмента

Параметр  $\left(\frac{t_1}{t_2} - 1\right)$ , входящий в формулы (2), (3), косвенно характеризует режущую способность шлифовального круга.

На рис. 7 показана зависимость

$$\left(\frac{t_1}{t_2} - 1\right)_{пр} / \left(\frac{t_1}{t_2} - 1\right)_{сп} = f(K_{пр}, n) \quad (3)$$

построенная по результатам экспериментального определения истинного объёма обрабатываемого материала при шлифовании сплошным и прерывистым кругами. Из анализа этой зависимости следует, что эффективность работы прерывистого круга по сравнению со сплошным повышается с увеличением числа прорезей  $n$  на шлифовальном инструменте и с возрастанием величины отношения протяжённости впадины  $l_2$  к длине режущего выступа  $l_1$ .

На рис. 8 приведена зависимость температуры шлифования от числа прорезей  $n$  на круге и от величины коэффициента прерывистости  $K_{пр}$ . Кривая АБВ образовалась в результате пересечения объёмной зависимости  $T_k = f(K_{пр}, n)$  в виде вогнутой ленты с заштрихованной плоскостью, расположенной параллельно системе координат  $(K_{пр}, n)$  на уровне температуры  $T_k = 400$  °С, не вызывающей появления шлифовочных дефектов на обрабатываемой поверхности. Каждая точка кривой АБВ представляет собой такую совокупность геометрических параметров рабочей поверхности прерывистого круга, при которой не нарушаются физико – механические свойства поверхностного слоя шлифуемой детали. Из рис. 8 видно, что для обеспечения безопасной температуры в зоне резания необходимо при уменьшении числа прорезей на круге увеличивать величину отношения протяжённости впадины  $l_2$  к длине режущего выступа  $l_1$ .

На рис. 9 приведены кривые равных температур, отделяющие неприжоговую зону от прижоговой при прерывистом шлифовании на плоскошлифовальном станке ЗГ71М со скоростью детали  $V_{дет} = 10$  м/мин, глубиной резания  $t = 0,075$  мм, скоростью резания  $V_{кр} = 30$  м/с и поперечными подачами  $1\text{мм/ход} \leq S \leq 4\text{мм/ход}$  [13].

Кривые, изображённые на рис. 9, аналогичны кривой АБВ (рис. 8). Из анализа рис. 9 следует, что для обеспечения одного и того же уровня теплонапряжённости процесса шлифования можно уменьшение количества впадин на круге  $n$  и коэффициента прерывистости  $K_{пр}$  компенсировать уменьшением поперечной подачи  $S$ .

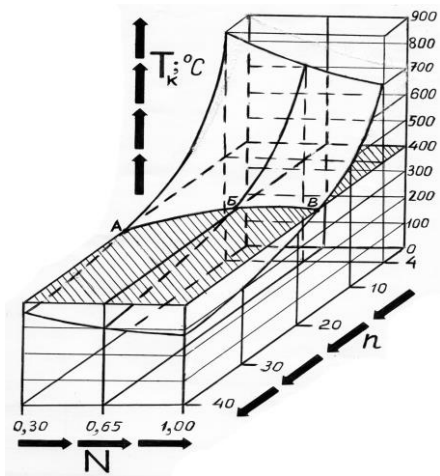


Рисунок 8 – Зависимость температуры шлифования от параметров  $K_{пр}$  и  $n$ , определяющих размеры выступов и впадин на рабочей поверхности прерывистого круга

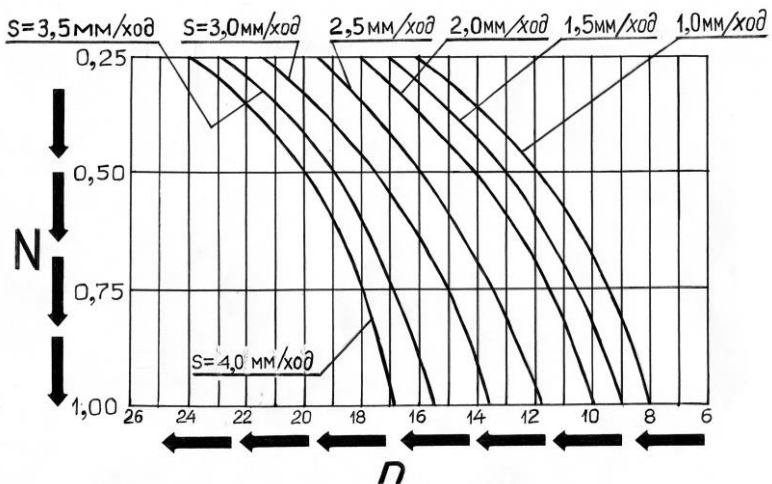


Рисунок 9 – Кривые равных температур, отделяющие бесприжоговую зону от прижоговой, при шлифовании прерывистыми кругами 24А 40 СМ 1К1 цементованной стали 12Х2Н4А на режимах:

$V_{дет} = 10$  м/мин,  $t = 0,075$  мм,  $V_{кр} = 30$  м/с,  $1$  мм/ход  $\leq S \leq 4$  мм/ход



На рис. 10 показаны области возможного возникновения параметрического резонанса в виде скоплений эллипсов в системе координат, в которой по оси абсцисс откладываются числа впадин на круге, а по оси ординат – значения коэффициента прерывистости  $K_{пр}$ .

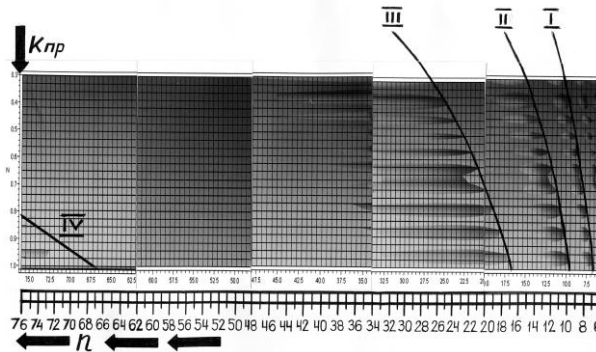


Рисунок 10 – Области параметрической неустойчивости упругой системы плоскошлифовального станка в плоской системе координат ( $n$ ,  $K_{пр}$ )

На рис. 11 районы скоплений эллипсов очерчены границами и заштрихованы.

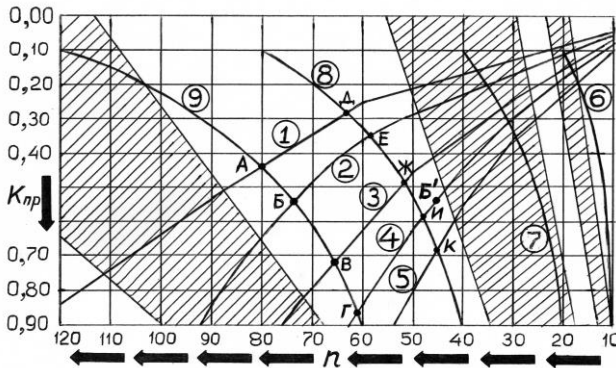


Рисунок 11 – Геометрические характеристики рабочей поверхности прерывистых шлифовальных кругов с размерами впадин 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм, 7 мм (кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответственно) и их влияние на степень снижения температуры по сравнению со сплошным шлифованием (кривые 6, 7, 8, 9) и на возможность предотвращения параметрического резонанса (заштрихованные зоны)

На рис. 11 показаны такие линии 1-5, характеризующие совокупности геометрических параметров макропрофиля рабочей поверхности прерывистого шлифовального инструмента, технология формообразования которого сводится к прорезке на заточных станках одинаковых пазов, равномерно распределённых по периферии круга.

Кривые 6, 7, 8, 9 на рис. 11 соответствуют таким совокупностям размеров выступов и впадин, которые обеспечивают снижение температур сплошного шлифования (800 °С, 900 °С, 1000 °С, 1100 °С соответственно) до одного и того же уровня, не вызывающего появления прижогов на обрабатываемых поверхностях деталей.

Форма кривых 1-5 говорит о том, что последовательное увеличение количества равномерно – распределённых по периферии круга прорезей неизбежно приводит к увеличению коэффициента прерывистости, и, как следствие, способствует дополнительному снижению теплонапряжённости процесса шлифования.

Из рис. 11 видно, что температуру сплошного шлифования, равную 1100 °С, можно понизить до безопасного уровня за счёт применения прерывистых кругов, геометрические характеристики которых соответствуют точкам **Г** ( $n = 60, l_2 = 6\text{мм}$ ), **В** ( $n = 65, l_2 = 5\text{мм}$ ), **Б** ( $n = 75, l_2 = 4\text{мм}$ ) и **А** ( $n = 80, l_2 = 3\text{мм}$ ). Если температура сплошного шлифования 1000 °С, то обеспечить требуемое физико – механическое состояние поверхностного слоя обрабатываемых деталей можно за счёт использования прерывистых кругов с такими наборами геометрических характеристик:

$n = 45, l_2 = 7\text{мм}$  (точка К на линии 5);

$n = 48, l_2 = 6\text{мм}$  (точка И на линии 5);

$n = 52, l_2 = 5\text{мм}$  (точка Ж на линии 5);

$n = 58, l_2 = 4\text{мм}$  (точка Е на линии 5);

$n = 63, l_2 = 3\text{мм}$  (точка Д на линии 5).

При этом каждый из этих девяти прерывистых кругов способен не только обеспечить требуемую степень понижения температуры в зоне резания, но и предотвратить возникновение в упругой системе станка параметрического резонанса. Удачному размещению кривых 8 и 9 в без резонансной зоне в значительной мере благоприятствуют одинаковые углы наклонов этих кривых и областей неустойчивых состояний упругой системы станка.

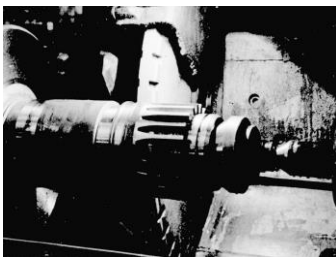
Наши исследования [1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 13] показали, что добиться требуемых геометрических показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей при прерывистом шлифовании весьма сложно, так как постоянно меняющиеся условия обработки (снижение режущей способности круга, изменение глубины и скорости резания и т.д.) вызывают колебания шпинделя станка. Кроме того, прерывистые шлифовальные круги

нетехнологичны для изготовления в массовом производстве, предлагаемые нами рекомендации по увеличению числа прорезей на их рабочих поверхностях ещё больше увеличивают себестоимость их изготовления.

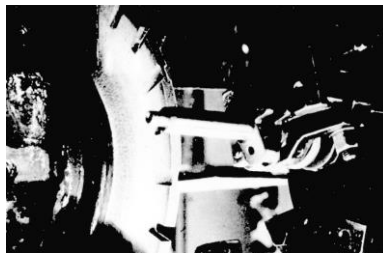
Проведенные нами исследования [13] показали, что шлифовальные круги с радиальными пазами, выполненные на торцах с выходом на периферию, хоть и не уменьшают себестоимость их изготовления, но значительно снижают вероятность возникновения в упругой системе станка параметрического резонанса (рис. 12).

Прерывистые круги с наклонными пазами (рис. 13, а) обеспечивают непрерывный контакт абразивного инструмента с обрабатываемой заготовкой, благодаря чему полностью исключается вероятность возникновения параметрического резонанса [12].

Наличие вырезов, наклонённых к оси вращения круга, обеспечивает подачу воздушного потока в зону резания. Мощная струя воздуха выдувает стружку из зоны резания, интенсифицируя процессы её окисления и сгорания.



а)



б)

Рисунок 12 – Абразивные шлифовальные круги с радиальными пазами на торцах (а) и круги, у которых прямые сквозные прорезы на периферии равномерно чередуются с радиальными пазами на торцах (б)

Окисленная стружка становится круглой, приобретая шаровидную форму (рис. 14), не налипает на поверхность режущих зёрен и не внедряется в поры шлифовального круга [3]. Прерывистые круги с наклонными режущими выступами обеспечивают прокачку жидкости и воздуха через прорезы, тем самым снижая теплонапряжённость процесса шлифования [13].

Работы [14, 15] посвящены исследованию эффективности применения абразивных кругов со спиральными канавками на рабочих поверхностях. Такие круги обладают всеми преимуществами прерывистых кругов и, благодаря обеспечению непрерывного контакта с обрабатываемым материалом, их работа не сопровождается колебаниями шпинделя. Кроме

того, себестоимость изготовления этих кругов значительно ниже, чем прерывистых.

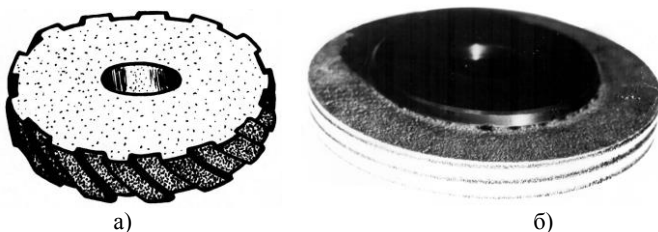


Рисунок 13. – Абразивные шлифовальные круги, обеспечивающие непрерывный контакт с обрабатываемой деталью: прерывистый круг с наклонными пазами (а) и круг со спиральными канавками на рабочей поверхности (б)

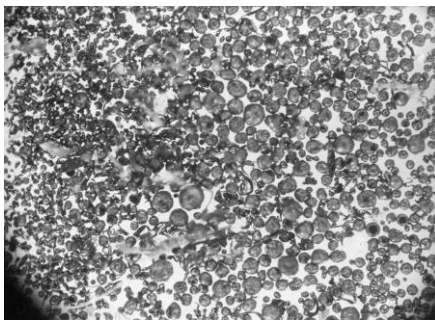


Рисунок 14 – Вид снаружи, образующийся при шлифовании прерывистыми кругами с наклонными пазами

### **Выводы:**

1. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований выявлены преимущества и вскрыты недостатки, присущие шлифованию прерывистыми кругами с прямыми прорезями на рабочих поверхностях.

2. Для улучшения геометрических показателей качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей обосновано применение шлифовальных кругов со спиральными канавками на их рабочих поверхностях.

**Список использованных источников:** 1. Новиков Ф.В. К вопросу о сущности прерывистого шлифования / Ф.В. Новиков, А.А. Якимов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – № 60. – С. 177-182. 2. Якимов А.В.

Оценка эффективности применения прерывистого шлифования / А.В. Якимов, А.А. Якимов // Физические и компьютерные технологии: труды 19-й междунар. науч. – практ. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2014. – С. 61-66. **3. Якимов А.В.** Стабилизация технологических параметров процесса шлифования зубчатых колёс / А.В. Якимов, А.А. Якимов // Сучасне машинобудування: журнал асоціації технологів – машинобудівників України. – Київ: ІВЦ, ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2000. – №1 – 2 (3-4). – С.105-113. **4. Лищенко Н.В.** Определение температуры прерывистого шлифования / Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, А.В. Якимов // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса: ОНПУ, 2012. – Вип. 2 (39). – С. 80-85. **5. Свирищев В.И.** Об устойчивости упругой системы плоскошлифовального станка ЗГ71 / В.И. Свирищев, А.Н. Паршаков, В.И. Потёмкин // Повышение качества деталей при окончательных методах обработки: межвузовский сб. науч. тр. – Пермь: Перм. политехн. инс., 1977. – №208. – С. 42-50. **6. Тонконогий В.М.** Динамика прерывистого шлифования / В.М. Тонконогий, А.А. Якимов, Л.В. Бовнегра // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. Науч.-техн. сбор. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – Вип. 85. – С. 288- 295. **7. Тонконогий В.М.** Расчёт амплитуды колебаний при прерывистом шлифовании / В.М. Тонконогий, А.А. Якимов // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наук. пр. – Харків: НТУ «ХПБ», 2015. – Вип. 10. – С. 63- 70. **8. Якимов А.А.** Расширение возможности использования прерывистых шлифовальных кругов на керамической связке / А.А. Якимов, В.М. Тонконогий, Л.В. Бовнегра, В.М. Тигарев // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наук. пр. – Харків: НТУ «ХПБ», 2016. – Вип. 11. – С. 64-73. **9. Тонконогий В.М.** Предотвращение возникновения параметрической неустойчивости в условиях шлифования высокоточных зубчатых колёс прерывистыми эльборовыми кругами / В.М. Тонконогий, С.Ю. Дмитриева, А.А. Якимов // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наук. пр. – Харків: НТУ «ХПБ», 2014. – Вип. 9. – С. 206-215. **10. Наддачин В.Б.** Причины вибрации шпиндельной системы станка и их влияние на процесс шлифования / В.Б. Наддачин // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: труды 6 – й междунар. науч.-техн. конф. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. – С. 140-143. **11. Лукин Л.Л.** Расчёт прерывистых кругов при плоском периферийном шлифовании / Л.Л. Лукин, В.Д. Старшев // Вестник Иж. ГТУ. – 2007. – №1. – С. 38-39. **12. Якимов А.В.** Оптимизация параметров процесса шлифования прерывистыми кругами с равномерным контактом / А.В. Якимов, А.А. Якимов, С.Ю. Дмитриева // Вісн. Харків. нац. техн. унів-ту сільськ. госп-ва ім. Петра Василенка: Зб. наук. пр. – Харків: ХНТУСГ, 2007. – Вип. 61. – С. 34-39. **13. Якимов А.А.** Технологические основы обеспечения и стабилизации качества поверхностного слоя при шлифовании зубчатых колёс / А.А. Якимов. – Одесса: Астропринт, 2003, – 456 с. **14. Якимов А.А.** Исследование температуры при шлифовании кругами со спиральными канавками на периферии / А.А. Якимов, О.А. Якимова // Сучасне машинобудування: журнал асоціації технологів-машинобудівників України. – Київ: РІЦ ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 1999. – №2. – С. 65-68. **15. Якимов А.А.** Исследование температуры при шлифовании кругами со спиральными канавками на периферии / А.А. Якимов, Ф.В. Новикова, С.Ю. Дмитриева, В.П. Кулік // Вісник Харківськ. держ. техніч. унів-ту сільськ. госп-ва: Наукове видання. – Харків: ХДТУСГ, 2003. – Вип. 18. – С. 114-110.

Олексій Якимов, Любов Бовнегра, Юлія Шихірева,  
Олена Павлишко, Марія Королькова, Одеса, Україна

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРИВЧАСТОГО ШЛІФУВАННЯ**

**Анотація.** Шліфування є найбільш поширеним методом обробки деталей із загартованих сталей. Однак через високу теплонапруженість процесу шліфування на оброблюваних поверхнях з'являються різні дефекти, які суттєво знижують експлуатаційну надійність виготовлених

деталей. Одним з ефективних шляхів підвищення якості поверхневого шару і продуктивності шліфування є застосування абразивних інструментів з переривчастою робочою поверхнею. Але неправильне застосування цих кругів часто призводить до утворення на оброблюваних поверхнях додаткових дефектів — хвилястості і технічних припалів. У статті виявлено умови погіршення геометричних і фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару деталей на операції шліфування абразивним кругом з переривчастою робочою поверхнею. Запропоновано шляхи підвищення якості поверхневого шару деталей при переривчастому шліфуванні. Встановлено, що при шліфуванні переривчастим кругом з пазами, паралельними осі інструменту, дуже складно запобігти появі шліфувальних дефектів через постійні зміни умов обробки (зміна параметрів режиму різання, засолювання робочої поверхні круга), що призводять до виникнення в пружно системі шліфувального верстата параметричних коливань. На основі теоретичних і експериментальних досліджень обумовлена доцільність використання на операції шліфування абразивних кругів зі спіральними канавками або похилими пазами на робочих поверхнях.

**Ключові слова:** параметрична нестійкість; переривчастий круг; температура шліфування; коефіцієнт уривчастості; зона різання; пружна система верстата.

Alexey Yakimov, Liubov Bovnegra, Julia Shikhireva,  
Elena Pavlyshko, Maria Korolkova, Odessa, Ukraine

## **INCREASE EFFICIENCY OF INTERRUPTED GRINDING PROCESS**

**Abstract.** Grinding is the most common method for machining hardened steel parts. However, due to the high thermal stress of the grinding process, various defects appear on the machined surfaces, significantly reducing the operational reliability of the parts produced. One of the effective ways to improve the quality of the surface layer and the performance of grinding is the use of abrasive tools with a discontinuous working surface. But the incorrect application of these circles often leads to the formation of additional defects on the surfaces being treated — waviness and technical burns. The article reveals the conditions for the deterioration of the geometric and physico-mechanical parameters of the quality of the surface layer of parts in the grinding operation with abrasive wheels with a discontinuous working surface. The ways of improving the quality of the surface layer of parts with intermittent grinding are proposed. It has been established that when grinding with a discontinuous circle with grooves parallel to the tool axis, it is very difficult to prevent the occurrence of grinding defects due to constantly changing processing conditions (changing the parameters of the cutting mode, filling the working surface of the wheel), resulting in the appearance of parametric grinding in the elastic surface grinding machine. On the basis of theoretical and experimental studies, the expediency of using abrasive wheels with spiral grooves or inclined grooves on working surfaces in an operation is determined.

**Keywords:** parametric instability; intermittent lap; grinding temperature; discontinuity factor; cutting area; elastic system of the machine.