

УДК 621.923

В. Б. Богущкий, канд. техн. наук, **Л. Б. Шрон**, канд. техн. наук, доцент.
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Тел./Факс: +7 (978) 767 28 73; E-mail: VBBogutskiy@sevsu.ru

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ПРЕРЫВИСТЫМ ПРОФИЛЕМ НА ОПЕРАЦИЯХ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе выполнен сравнительный анализ работы шлифовальных кругов со сплошной и прерывистой рабочей поверхностью. Показано, что результаты расчетов ожидаемой контактной температуры, шероховатости и интенсивности износа при заданной интенсивности съема металла подтверждаются производственными испытаниями. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что на операциях плоского шлифования, особенно при обработке металлорежущего инструмента, целесообразно применять шлифовальные круги с прерывистой рабочей поверхностью.

Ключевые слова: шлифование, шлифовальный круг, прерывистый профиль, плоское шлифование, размерный износ.

V. B. Bogutsky, L. B. Shron

ABOUT THE FEASIBILITY OF APPLICATION OF GRINDING WHEELS WITH INTERMITTENT PROFILE FOR FLAT GRINDING OPERATIONS

The paper presents a comparative analysis of grinding wheels with continuous and intermittent working surface. It is shown that the results of calculations of the expected contact temperature, roughness and wear at a assigned intensity of metal removal are confirmed by production tests. The results obtained allow us to conclude that in flat grinding operations, especially when machining metal cutting tools that it is advisable to use grinding wheels with a intermittent working surface on flat grinding operations, especially when processing the tool.

Keywords: grinding, grinding wheel, intermittent profile, flat grinding, dimensional wear.

1. Введение

Для финишной обработки плоских поверхностей деталей машин в последнее время широкое распространение, особенно на предприятиях инструментального крупносерийного и инструментального производства, получил метод шлифования абразивным инструментом с прерывистой рабочей поверхностью (ПРП). По данным [1-4], ежегодно на операциях плоского шлифования общий съём металла составляет 45...55 тыс. тонн и расходуется около 230 тысяч шлифовальных кругов Ø200...500 мм. В том числе на в инструментальном производстве на плоскошлифовальных станках в значительном количестве обрабатываются детали такого технологического инструмента как штампы и прессформы (матрицы, плиты, вставки пуансоно- и матрице-держатели и др.) к которым предъявляются достаточно высокие требования как по шероховатости поверхности и точности обработки, так и по физико-механическим свойствам обработанных поверхностей. Необходимость обеспечения заданных физико-механических свойств, в значительной степени сказывается на производительности процесса шлифования, заставляя технологов снижать режимы обработки.

2. Основное содержание и результаты работы

Согласно [5-9 и др.] использование на операциях шлифования абразивного инструмента с ПРП позволяет интенсифицировать режимы обработки при обеспечении требуемых физико-механических обрабатываемой поверхности. За счет периодического прерывания процесса резания температура в зоне контакта абразивных зерен с мате-

риалом детали снижается и, одновременно, в технологической системе возбуждаются высокочастотные колебания, уменьшая энергоёмкость процесса обработки.

Как показано в [6, 7, 10-12 и др.], при шлифовании абразивным инструментом с ПРП сочетание эффекта от периодического прерывания процесса резания (в зоне контакта абразивных зерен с материалом детали температура не достигает квазистационарного состояния) с эффектом постоянного заострения рельефа круга дает возможность снижения теплонапряженности процесса обработки. Основные математической модели процесса шлифования поверхностей кругом с ПРП и расчетные зависимости приводятся в [6-8, 13-18].

Цель статьи □ выполнить сравнительный анализ и практическую проверку работы шлифовальных кругов со сплошной и прерывистой рабочей поверхностью.

Для проверки предлагаемых методик расчета характеристик абразивного инструмента с ПРП и режимов обработки выполнены расчеты и построены графические зависимости: ожидаемых контактной температуры, шероховатости и интенсивности износа от заданной интенсивности съема металла (рис.1).

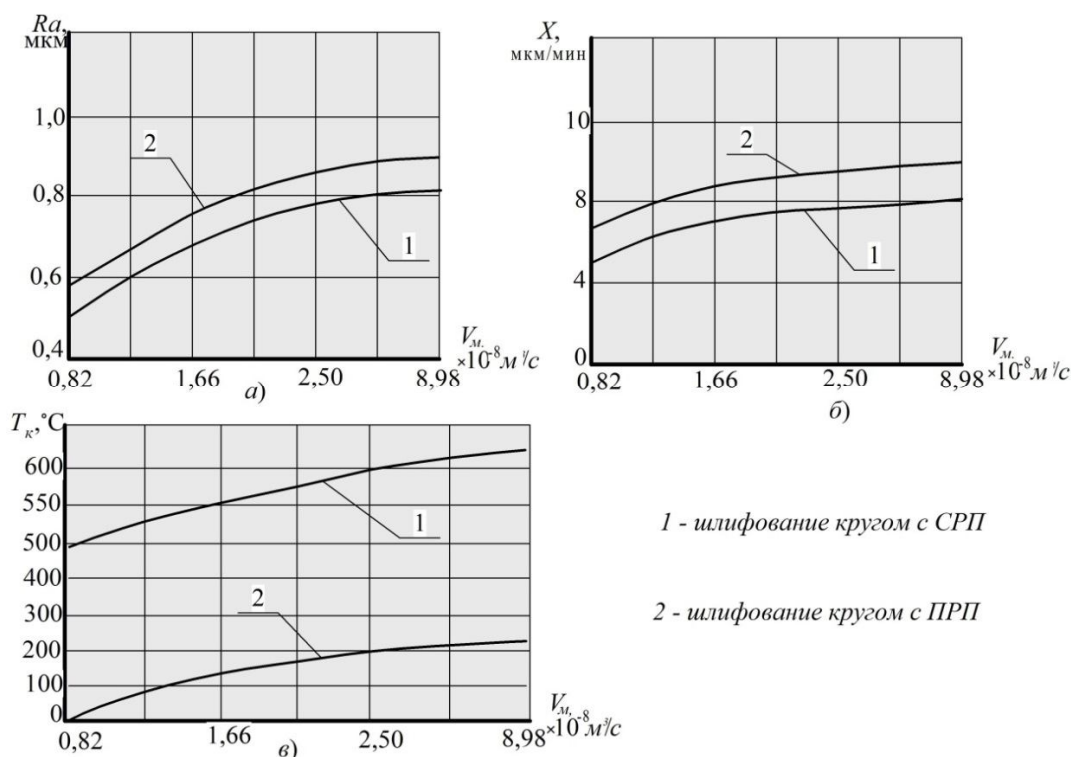


Рисунок 1. Сравнительные результаты расчетов процесса шлифования кругами с прерывистой и сплошной рабочей поверхностью от заданной интенсивности съема металла: а – шероховатости поверхности; б – интенсивности износа; в – контактной температуры.

Расчёты производились для шлифования заготовки из закаленной стали Х12Ф1 (HRC 60...64). Сравнимые варианты инструмента: шлифовальный круг со СРП тип 1 300x40x127 25AF40LV и шлифовальный круг с ПРП тип 1 300x40x127 25AF40LV (10 пазов длиной $l_1=l_2=47$ мм расположенных под углом к оси круга $\alpha=15^{\circ}$). Принятые исходные данные: диаметр шлифовального круга, $D=0,30$ м; площадь обрабатываемой поверхности $F_{заг}=8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$; глубина резания $t=0.02$ мм/дв.ход; коэффициент температуропроводности $\alpha=3 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$; коэффициент теплопроводности $\lambda=16,7$

Вт/(°С·м²); радиус округления вершины абразивного зерна $\rho_g=1,45 \cdot 10^{-5}$ м; коэффициент стружкообразования $K_c=0,9$; скорость заготовки $V_u=0,1$ м/с; V_k – скорость круга, 35 м/с; зернистость круга, $\bar{x}=40$ мкм; n_g – количество вершин зерен на единицу поверхности рабочего слоя круга, $5,2 \cdot 10^6$ 1/м²; η – параметр управления теплонапряжённостью процесса шлифования, $\eta=0,3$; m – объёмная концентрация зёрен круга, $m=0,5$;

Необходимо определить: шероховатость обработанной поверхности, размерный износ круга в единицу времени, контактную температуру и интенсивность съёма металла. Ниже приведены примеры выполнения расчётов перечисленных характеристик.

Фактическая глубина резания [6, 7, 15]:

$$t_f = \sqrt{\frac{D^2}{2} - \left(\sqrt{D \cdot t} - \frac{V_u}{V_k} (l_1 + l_2) \right)^2} - \left(\sqrt{\frac{D^2}{2} - D \cdot t} \right) =$$

$$\sqrt{0,5 \cdot 0,3^2 - \left(\sqrt{0,3 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}} - \frac{0,1}{35} \cdot (0,04 + 0,0255) \right)^2} -$$

$$- \sqrt{0,5 \cdot 0,3^2 - 0,25 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}} = 5,24 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Ожидаемое значение среднего арифметического отклонения профиля и скорости износа круга вычислим по зависимостям [6, 15, 16]:

$$R_a = \frac{0,25 \cdot V_u^{0,4} \cdot \left(\sqrt{\frac{D^2}{2} - \left(\sqrt{Dt} - \frac{V_u}{V_k} (l_1 + l_2) \right)^2} - \left(\sqrt{\frac{D^2}{2} - Dt} \right) \right)^{0,6}}{K_c^{0,6} \cdot (V_k \pm V_u)^{0,4} \cdot n_g^{0,4} \cdot D^{0,2} \cdot \rho_g^{0,2}} =$$

$$= \frac{0,25 \cdot 0,1^{0,4} \cdot (5,24 \cdot 10^{-6})^{0,6}}{0,9^{0,6} \cdot (35 + 0,1)^{0,4} \cdot 5,2^{0,4} \cdot 0,3^{0,2} \cdot (1,45 \cdot 10^{-5})^{0,2}} = 0,93 \text{ мкм}$$

Интенсивность съёма металла [6, 7, 15]:

$$V_m = \frac{0,02 \cdot t \cdot V_u \cdot F_{заг}}{B} = \frac{0,02 \cdot 5,24 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{12} = 6,987 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Контактная температура [6, 10, 14]:

$$T = 2,04 \cdot A \cdot \left[\frac{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_u \cdot t^{3,5} \cdot (1 + \eta) \cdot V_k \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1} \right)^3}{\lambda^2 \cdot C^2 \cdot \rho_g^2 \cdot \bar{x}^2 \cdot (1 - \eta)^2} \right]^{0,25} =$$

$$= 2,04 \cdot 17,1 \cdot \left[\frac{1 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot (0,05 \cdot 10^{-3})^{3,5} \cdot (1 + 0,3) \cdot 35 \cdot \left(1 + \frac{25,5}{40} \right)^3}{16,7^2 \cdot (5,57 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 99,998^2 \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (1 - 0,3)^2} \right]^{0,25} = 209,34^\circ\text{C}$$

Величина линейного износа максимально выступающего зерна [6, 15, 17, 18]:

$$X = \sqrt[3]{\frac{1444,4 \cdot V_u \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right) \cdot \sqrt{\frac{2t}{R}} \cdot \bar{x}^3 \cdot \eta^3}{m \cdot V_k \cdot \text{tg} \gamma \cdot (1 - \eta^2)}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{1444,4 \cdot 0,1 \left(1 + \frac{0,0255}{0,04}\right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3}}{0,125}} \cdot (40 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 0,3^3}{0,5 \cdot 35 \cdot 1 \cdot (1 - 0,3^2)}} = 8,98 \text{ мкм/мин}$$

Выполненные расчёты показывают, что в одинаковых условиях абразивный круг с ПРП по сравнению с кругом со сплошной рабочей поверхностью (СРП) снижает температуру в зоне контакта ($\Delta T_{\text{кmax}} = -30\%$ при изменении интенсивности съёма металла $0,8 \dots 8,98 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$, что даёт возможность роста производительности обработки. В данном случае некоторое возрастание шероховатости и скорости размерного износа при шлифовании кругом с ПРП можно объяснить тем, что в условиях более интенсивного самозатачивания снижается количество зёрен на единице рабочей поверхности круга с ПРП, а также уменьшается величина площадок износа на их вершинах, что приводит к увеличению глубины внедрения абразивных зёрен в металл. Однако, при этом условия микрорезания абразивными зёрнами улучшаются, требуя на съём металла в единицу времени меньших энергетических затрат, а уменьшение высоты шероховатости при необходимости достигается соответствующим уменьшением зернистости и увеличением твёрдости круга. Аналогично достигается и снижение размерного износа. При этом ПРП абразивного инструмента позволяет вести обработку в области допустимых контактных температур. Снижение теплонапряжённости при шлифовании кругом с ПРП даёт возможность интенсифицировать режимы обработки без опасности возникновения прижогов на обрабатываемых поверхностях.

Производственная проверка возможностей и сравнение эксплуатационных показателей шлифовального круга с ПРП и шлифовального круга со сплошной рабочей поверхностью (СРП) производилась на ООО «Гаврида электрик» (г. Севастополь) на операциях шлифования плоских поверхностей деталей прессформ. Заготовки из закалённой стали X12M обрабатывались на плоскошлифовальном станке модели 3E711B. В качестве СОТС использовался 3%-ый раствор эмульсола Укринол-1 в воде. Шлифование производится при скорости круга $V_k = 35 \text{ м/с}$, скорость подачи заготовки $V_u = 10 \text{ м/мин}$, $t = 0,03 \text{ мм}$. Основные требования: отсутствие прижогов, шероховатость обработанных поверхностей $Ra = 1,25 \text{ мкм}$. Допускаемая скорость размерного износа абразивного круга – 50 мкм/мин . Результаты проверки приведены на рис. 2 и 3.

Результаты сравнительного исследования физико-механического состояния поверхностного слоя плит обработанных кругами с ПРП со СРП показали, что в тонком поверхностном слое возрастает микротвёрдость (рис. 3, а) и появляются остаточные напряжения сжатия (рис. 3, б). Особенностью изменений физико-механических свойств по глубине является отсутствие слоя с пониженной микротвёрдостью. При шлифовании обычными кругами его появление обусловлено структурными превращениями, возникающими при высоких температурах зоны контакта. При шлифовании кругами с ПРП уменьшается время контакта сечения поверхности с инструментом до $(1,8 \dots 3,7) \cdot 10^{-4} \text{ с}$, скорость нагрева и охлаждения поверхностного слоя до $(2,1 \dots 3,6) \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{C/с}$. При таких скоростях термических процессов возникновение отпущенного слоя маловероятно.

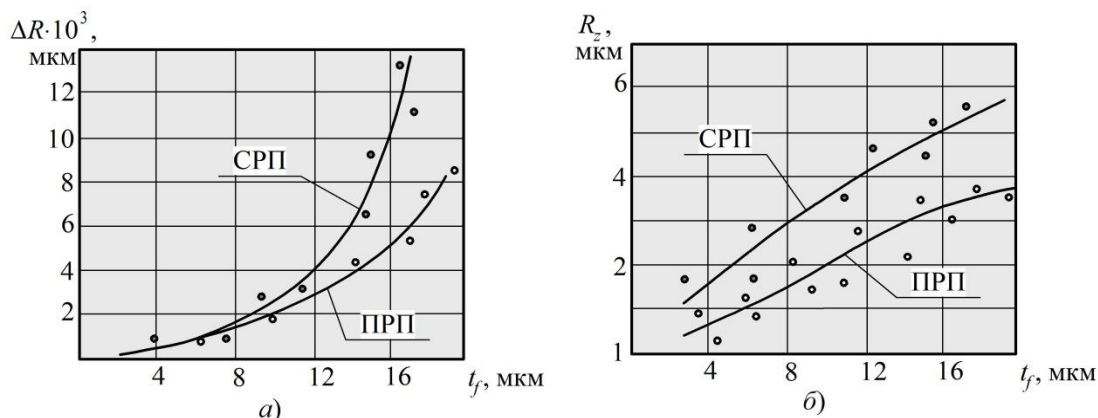


Рисунок 2. Проверка износа шлифовального круга (а) и шероховатости обработанной поверхности (б).

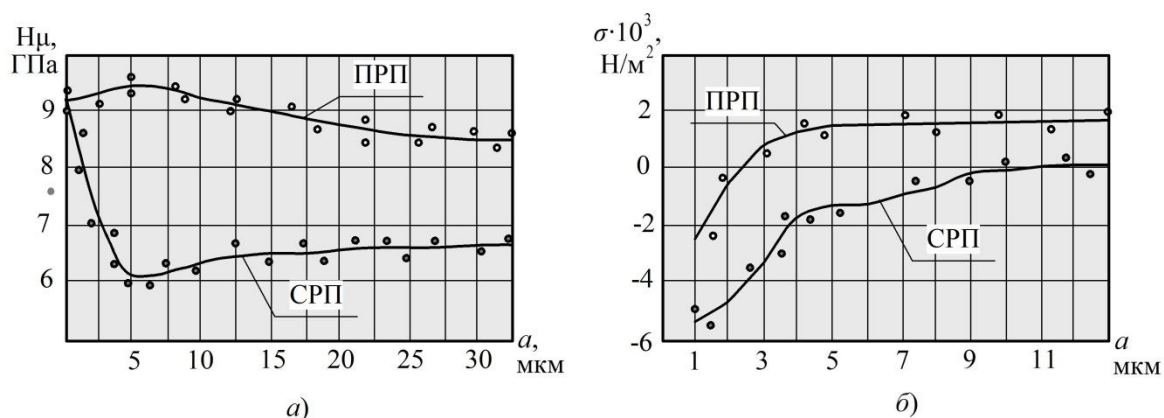


Рисунок 3. Распределение микротвердости (а) и остаточных напряжений (б) в поверхностных слоях образцов из закаленной стали.

В процессе испытаний скорость подачи заготовок увеличена с 0,032 м/с до 0,046 м/с, что соответствует увеличению производительности обработки на $\approx 44\%$. При этом прижоги на обработанных поверхностях отсутствовали, шероховатость и точность соответствовали заданным техническим условиям.

Заключение

Проведенные сравнительные расчеты и производственные испытания позволяют сделать вывод о целесообразности применения на операциях плоского шлифования шлифовальных кругов с прерывистым профилем. При проектировании плоскошлифовальных операции технологю с целью обеспечения заданного качества поверхностного слоя обрабатываемой поверхности, следует предварительно изучить методику расчётов и затем выполнить расчёт геометрических параметров прерывистого профиля круга, а также расчёт режимов высокопроизводительного шлифования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кручиневский, С. М. Отчет по маркетинговому исследованию рынка металло-режущего инструмента РФ. – СПб.: Питер–Консалт, 2013. – 23 с.
2. Narasimha, M. Improving Cutting Tool Life a Review / M. Narasimha, K. Sridhar, et al. // International Journal of Engineering Research and Development. – 2013. – Vol. 7. – Iss.1. – P. 67-75.

3. Handbook of Machining with Grinding Wheels, Second Edition / Ioan D. Marinescu, Mike P. Hitchiner. CRC Press. – 2016. – 750 p.
4. Макаров, В.Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки труднообрабатываемых материалов / В.Ф. Макаров. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 359 с.
5. W. Brian Rowe. Principles of modern grinding technology. Jordan Hill, Oxford OX2 8DP: UK. – 2009. – 421 p.
6. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / под ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова // Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т.4. – 802 с.
7. Якимов, А. В. Прерывистое шлифование / А. В. Якимов. – К.: Вища школа, 1986. – 175 с.
8. Хусаинов, А. Ш. Повышение производительности бездефектного шлифования заготовок клиновидных изделий: дис. ... докт. техн. наук / А. Ш. Хусаинов. – Ульяновск. – 2006. – 425 с.
9. Богущкий, В. Б. Анализ конструктивных особенностей шлифовальных кругов с прерывистой поверхностью / В. Б. Богущкий, Л. Б. Шрон, Б. В. Богущкий, Б. Л. Шрон // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2012. – № 35. – С. 60-64.
10. Сизый, Ю.А. Накопление тепла в поверхностном слое детали в цикле врезного шлифования / Ю.А. Сизый, А.В. Фесенко, Ю.Н. Любимый // Восточно-европейский журнал передовых технологий. □ 2013. □ Вып. № 7 (61). □ Т.1. □ С.61-63.
11. Лищенко, Н. В. Температура при шлифовании прерывистыми и высокопористыми кругами / Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин // Вектор науки ТГУ. – 2015. – № 3-1. – С. 75-84.
12. Смирнов, В. А. Повышение эффективности плоского шлифования периферией круга за счет использования прерывистых кругов с упругодемпфирующими элементами: дис. ... канд. техн. наук / В. А. Смирнов. – Ижевск, 2008. – 138 с.
13. Bogutsky, V. Calculating the profile of intermittent grinding wheel for the sharpening teeth of the broach / Yu. Novoselov, L. Shron // MATEC Web of Conferences 224, 01003 (2018) ICMTE 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822401003>.
14. Лищенко, Н. В. Определение температуры прерывистого шлифования / Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин, А. В. Якимов // Праці Одеського політехнічного університету. – 2012. – Вып. 2(39). – С. 80-85.
15. Новоселов, Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Севастополь: Из-во СевНТУ. – 2012. – 304 с.
16. Новоселов, Ю. К. Прогнозирование параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов, В. Б. Богущкий, Р.Н. Дзюбаба // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 8-1. – С. 262-269.
17. Novoselov, Yu. Patterns of removing material in workpiece - grinding wheel contact area / Yu. Novoselov, V. Bogutsky, L. Shron // Сборнике: Procedia Engineering, «International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017». – 2017. – P. 991-996.
18. Богущкий, В. Б. Расчет размерного износа абразивных зерен при наружном круглом шлифовании / В. Б. Богущкий, Ю. К. Новоселов, С. М. Братан // Ползуновский альманах. – 2012. – № 1. – С. 279-283.

Поступила в редколлегию 15.02.2019 г.