

ПОИСК ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕРЫВИСТЫХ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

В статье выявлена возможность увеличения производительности формирования впадин прерывистых абразивных кругов на керамической связке при их прорезании на заточном станке с применением делительных механизмов с одновременным снижением потерь абразивного материала, удаляемого при этом из сплошного круга. Теоретически обоснована возможность формирования впадин на прерывистом абразивном круге с использованием дробеструйной установки.

Ключевые слова: режущие выступы, самозатачивание, керамическая связка, параметрический резонанс, теплонапряженность процесса шлифования

A.A. JAKIMOV, L.V. BOVNEGRA, Y.I. BABYCH
Odessa national polytechnic university

SEARCHING FOR IMPROVEMENT PRODUCTION OF MANUFACTURING INTERMITTENT ABRASIVE WHEELS VITRIFIED

In this article has been identified the possibility of increasing the performance of forming depressions intermittent grinding wheels vitrified when cutting on grinding machines with separating mechanisms while reducing the loss of abrasive material removed at the same time from a continuous circle. Theoretically proved the possibility of forming depressions on intermittent abrasive wheels with grit installation.

Keywords: cutting projections, self-sharpening, ceramic bunch of parametric resonance, calorific of grinding process.

Постановка проблемы

В условиях широкого применения новых методов формообразования, позволяющих приблизить размеры заготовок к размерам готовых изделий, абразивная обработка становится одним из наиболее производительных методов обработки, успешно заменяя операции точения и фрезерования. Но абразивная обработка сопровождается теплосиловой напряженностью, приводящей к появлению в поверхностном слое шлифованных деталей прижогов и растягивающих напряжений. Применение абразивных кругов с прерывистой рабочей поверхностью снижает вероятность появления на обрабатываемых поверхностях шлифовочных дефектов [1, 2, 3, 4].

Использование прерывистых кругов на керамической связке сдерживается отсутствием эффективных технологий их изготовления. Технология изготовления прерывистых кругов сводится к прорезке пазов на заточных станках, оснащенных делительными устройствами. Недостатками подобной технологии являются низкая производительность и выделение большого количества абразивной пыли, приводящее к быстрому износу направляющих в заточном станке и способствующее возникновению профессионального заболевания заточников – силикозу. Для производства шлифматериалов используется кремний, содержащий не менее 96 % SiO₂. Частицы абразивной пыли размером 5-10 мкм очень долго держатся в воздухе. Длительное вдыхание пыли, содержащей свободный диоксид кремния SiO₂, приводит к тяжёлому неизлечимому заболеванию легких – силикозу [5, 6, 7].

Более прогрессивна технология изготовления прерывистых кругов с помощью дробеструйной установки. Технология предусматривает обдувку дробью (диаметром 0,5-0,8 мм) сплошного шлифовального круга, на котором закреплен шаблон. Струя дроби выбивает на сплошном круге впадины [4].

Недостатком этого метода является невозможность формирования впадин малой ширины. Существенным недостатком, сдерживающим применение прерывистых шлифовальных кругов, является возможность появления в упругой системе станка колебаний, которые могут оказывать негативное воздействие на качество обрабатываемой поверхности [8,9]. Установлено, что вероятность возникновения ударных и параметрических резонансов уменьшается с увеличением числа прорезей на рабочей поверхности абразивного круга [10]. Но с увеличением числа прорезей (при постоянной величине отношения ширины впадины к длине выступа) уменьшаются их размеры, и, как следствие, уменьшается возможность формирования впадин с применением дробеструйной установки.

Цель работы

Целью настоящей работы является изыскание возможности увеличения производительности изготовления прерывистых абразивных кругов на керамической связке.

Основная часть работы

В таблице приведены совокупности размеров выступов (l_1) и впадин (l_2) прерывистых кругов (диаметр круга $D = 250$ мм; диаметр посадочного отверстия $d = 75$ мм; высота круга $h = 40$ мм), имеющих на рабочих поверхностях разное количество прорезей ($n = 20; 30; 40; 50; 60; 70$) и разные величины отношений

ширины прорези к длине выступа $\left(N = \frac{l_2}{l_1} = 0,14; 0,24; 0,34; 0,47; 0,62; 0,80 \right)$. В верхней строке таблицы

приведены величины отношений массы прерывистого круга m_{np} к массе сплошного круга m_{cn} .

Таблица

Геометрические характеристики рабочих поверхностей прерывистых кругов плоского профиля на керамической связке (масса $m_{cn}=4\text{кг}$, размеры $D \times d \times h = 250 \times 75 \times 40$)

| Количество режущих выступов n | Величины отношений массы прерывистого круга к массе сплошного круга, m_{np}/m_{cn} | | | | | |
|---|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0,977 | 0,966 | 0,955 | 0,944 | 0,933 | 0,922 |
| | Отношение длины впадины к длине выступа, N | | | | | |
| | 0.14 | 0.24 | 0.34 | 0.47 | 0.62 | 0.80 |
| | Глубина впадины 10 мм | | | | | |
| Длины режущих выступов (l_1) и впадин (l_2), мм | | | | | | |
| 20 | $l_1 = 34,25$ | $l_1 = 31,65$ | $l_1 = 29,29$ | $l_1 = 26,70$ | $l_1 = 24,23$ | $l_1 = 21,80$ |
| | $l_2 = 5,00$ | $l_2 = 7,60$ | $l_2 = 9,96$ | $l_2 = 12,55$ | $l_2 = 15,02$ | $l_2 = 17,45$ |
| 30 | $l_1 = 22,95$ | $l_1 = 21,10$ | $l_1 = 19,53$ | $l_1 = 17,80$ | $l_1 = 16,15$ | $l_1 = 14,54$ |
| | $l_2 = 3,21$ | $l_2 = 5,00$ | $l_2 = 6,34$ | $l_2 = 8,37$ | $l_2 = 10,01$ | $l_2 = 11,63$ |
| 40 | $l_1 = 17,21$ | $l_1 = 15,83$ | $l_1 = 14,62$ | $l_1 = 13,35$ | $l_1 = 12,11$ | $l_1 = 10,90$ |
| | $l_2 = 2,41$ | $l_2 = 3,80$ | $l_2 = 5,00$ | $l_2 = 6,27$ | $l_2 = 7,51$ | $l_2 = 8,72$ |
| 50 | $l_1 = 13,77$ | $l_1 = 12,66$ | $l_1 = 11,72$ | $l_1 = 10,70$ | $l_1 = 9,69$ | $l_1 = 8,72$ |
| | $l_2 = 1,93$ | $l_2 = 3,04$ | $l_2 = 3,98$ | $l_2 = 5,00$ | $l_2 = 6,01$ | $l_2 = 6,98$ |
| 60 | $l_1 = 11,48$ | $l_1 = 10,55$ | $l_1 = 9,76$ | $l_1 = 8,90$ | $l_1 = 8,08$ | $l_1 = 7,27$ |
| | $l_2 = 1,61$ | $l_2 = 2,53$ | $l_2 = 3,32$ | $l_2 = 4,18$ | $l_2 = 5,00$ | $l_2 = 5,81$ |
| 70 | $l_1 = 9,84$ | $l_1 = 9,04$ | $l_1 = 8,37$ | $l_1 = 7,63$ | $l_1 = 6,92$ | $l_1 = 6,21$ |
| | $l_2 = 1,38$ | $l_2 = 2,17$ | $l_2 = 2,84$ | $l_2 = 3,58$ | $l_2 = 4,29$ | $l_2 = 5,00$ |

Из таблицы видно, что масса прерывистого круга m_{np} не зависит от количества прорезей (n), а зависит от величины отношения ширины впадины к длине выступа (N).

Параметрическая неустойчивость упругой системы шлифовального станка определяется условием [10]:

$$|L| > \frac{1+M}{2} \quad (1)$$

где

$$L = \frac{e^{-h(\tau_1+\tau_2)}}{h(k_2 + h \sin 2k_2\tau_1)} \left[k_1^2 \sin k_1\tau_1 \sin k_2\tau_2 - 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \cos k_2\tau_1 \cdot \cos k_1\tau_1 \cdot \cos k_2(\tau_1 + \tau_2) - k_2^2 \sin k_1\tau_1 \sin(2 \cdot k_2\tau_1 + k_2\tau_2) \right]; \quad (2)$$

$$M = \frac{k_1 k_2 e^{-2h(\tau_1+\tau_2)} \cos(2 \cdot k_2 \cdot (\tau_1 + \tau_2))}{h(k_2 + h \sin 2k_2\tau_1)}, \quad (3)$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{C_o}{m} + \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_n}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2, \quad k_2 = \sqrt{\frac{C_o}{m} - \frac{C_o \cdot \left(\frac{t_n}{t_\phi} - 1\right)}{2 \cdot m}} - h^2;$$

τ_1, τ_2 – времена прохождения над обрабатываемой поверхностью выступа и впадины прерывистого круга соответственно, с; t_n – глубина резания, установленная по лимбу, м; t_ϕ – фактическая глубина резания, м; C_o – приведенная жесткость упругой системы станка, Н/м; h – величина, характеризующая угасание колебаний во времени, 1/с.

Для выявления влияния массы m_{np} прерывистого круга на параметрическую устойчивость упругой системы станка были произведены соответствующие расчеты по формулам (1), (2), (3). Результаты расчетов приведены на рис. 1.

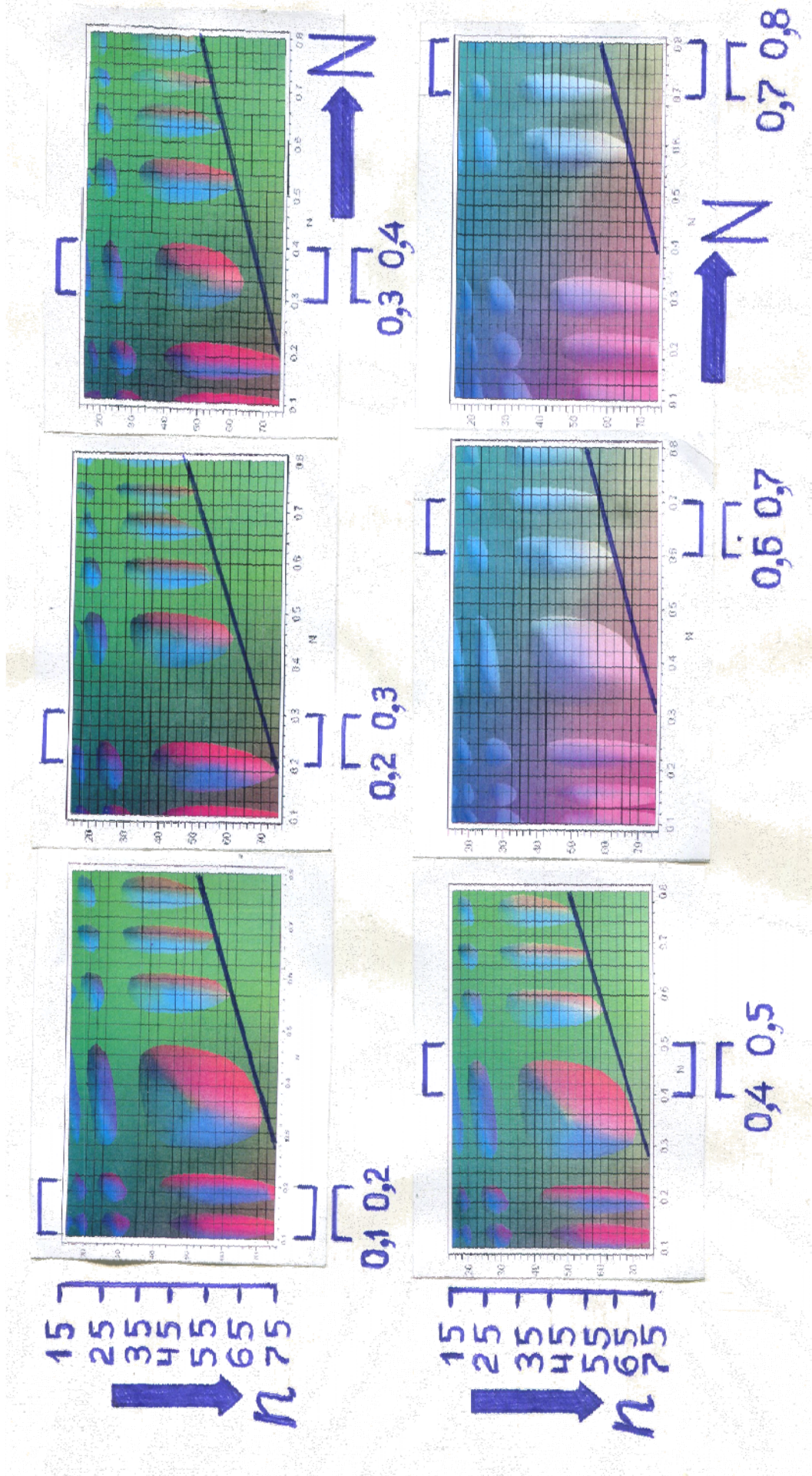


Рис.1. Изменение местоположений и размеров областей параметрической неустойчивости упругой системы станка при уменьшении массы прерывистого шлифовального круга $m_{пр}$ по причине увеличения суммарного объема абразива, удаленного при формировании впадин.

Верхний ряд слева направо: $\frac{m_{пр}}{m_{ст}} = 0,977; 0,966; 0,955$. Верхний ряд слева направо: $\frac{m_{пр}}{m_{ст}} = 0,944; 0,933; 0,922$

Расчеты проводились для исходных данных, помещенных в таблице. Области параметрической неустойчивости на рис. 1 выглядят в виде овальных пятен, построенных в плоской системе координат, в которой по оси абсцисс отложены значения отношений длин прорезей к длинам выступов (N), а по оси ординат – количество прорезей (n) на рабочей поверхности прерывистого шлифовального круга.

Таблица состоит из шести столбцов, каждый из которых содержит числовые значения длин выступов и впадин при изменяющемся количестве прорезей и неизменных значениях N и массы прерывистого круга m_{np} .

На рис. 1 прямоугольными скобками выделены участки графиков, соответствующие столбцам таблицы. Наклонная прямая, касательная к границам овально-подобных областей параметрической неустойчивости, является верхней границей зоны устойчивой работы упругой системы шлифовального станка (эта зона не содержит овалы).

Из анализа рис.1 следует, что с уменьшением массы прерывистого круга m_{np} от 3,90кг ($N = 0,14$) до 3,69 кг ($N = 0,80$) происходит незначительное смещение верхней границы зоны устойчивой работы упругой системы станка в сторону увеличения числа прорезей n на абразивном круге (от $n = 50$ до $n = 58$).

Рис.1 состоит из шести графиков, каждый из которых соответствует конкретной массе прерывистого круга. Анализ любого из этих графиков показывает, что с увеличением N точки, принадлежащие верхней границе устойчивой работы упругой системы станка, смещаются в сторону уменьшения количества прорезей на прерывистом круге. Например, для $\frac{m_{np}}{m_{cn}} = 0,966$ (средний график в

верхнем ряду рис. 1) с увеличением N от 0,1 до 0,8 количество прорезей n на прерывистом круге уменьшилось от 80 до 48. Чем меньше число прорезей на круге, тем легче его изготовить, а увеличение отношения $N = \frac{l_2}{l_1}$ (за счет увеличения размеров впадин l_2) дает возможность изготавливать прерывистые круги на керамической связке с применением дробеструйной установки.

Формирование впадин на круге сводится к закреплению на нем шаблона с последующим помещением под струю дроби (диаметром 0,5-0,8 мм), под действием которой абразивный инструмент принимает нужную форму [4]. Этот способ получения пазов более экономичный по сравнению с прорезкой пазов на заточном станке, так как при этом отсутствуют затраты на абразивный инструмент, применяемый для прорезки впадин. Более того, этот способ является более производительным. Но даже формируя впадины на заточном станке, производительность обработки уменьшается за счет уменьшения числа прорезей.

Таким образом установлено, что можно уменьшать количество прорезей на абразивном инструменте (с одновременным увеличением отношения ширины впадины к длине выступа), не нарушая при этом параметрической устойчивости упругой системы станка.

На рис.2 показано семейство кривых построенных в системе координат ($k_{np} = N; n$).

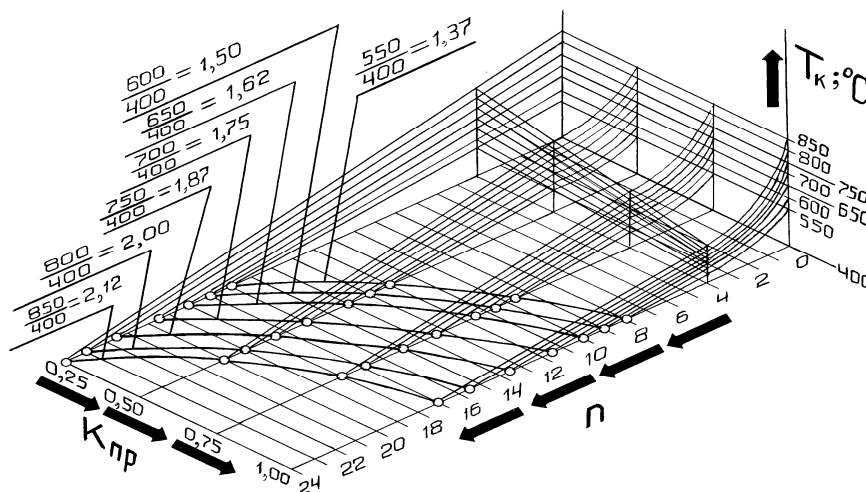


Рис.2. Семейство кривых в системе координат ($k_{np} = N; n$), каждая из которых соответствует конкретной степени понижения температуры при прерывистом шлифовании по сравнению со сплошным

Каждая точка любой из этих кривых соответствует одной и той же температуре шлифования. Направление этих кривых совпадает с направлением прямых, изображенных на рис.1. А это значит, что для обеспечения параметрической устойчивости упругой системы станка и поддержания температуры шлифования на заданном уровне необходимо при увеличении размеров впадин на прерывистом круге

одновременно уменьшать их количество. С увеличением $N = \frac{l_2}{l_1}$ уменьшается теплонапряженность процесса шлифования, улучшаются условия самозаточиваемости абразивного инструмента, но при этом ухудшается шероховатость обрабатываемой поверхности [11]/

Улучшить шероховатость обрабатываемой поверхности можно увеличением скорости резания $V_{кр}$. На рис.3 приведены профилограммы шероховатости поверхности после прерывистого шлифования с разными скоростями резания.

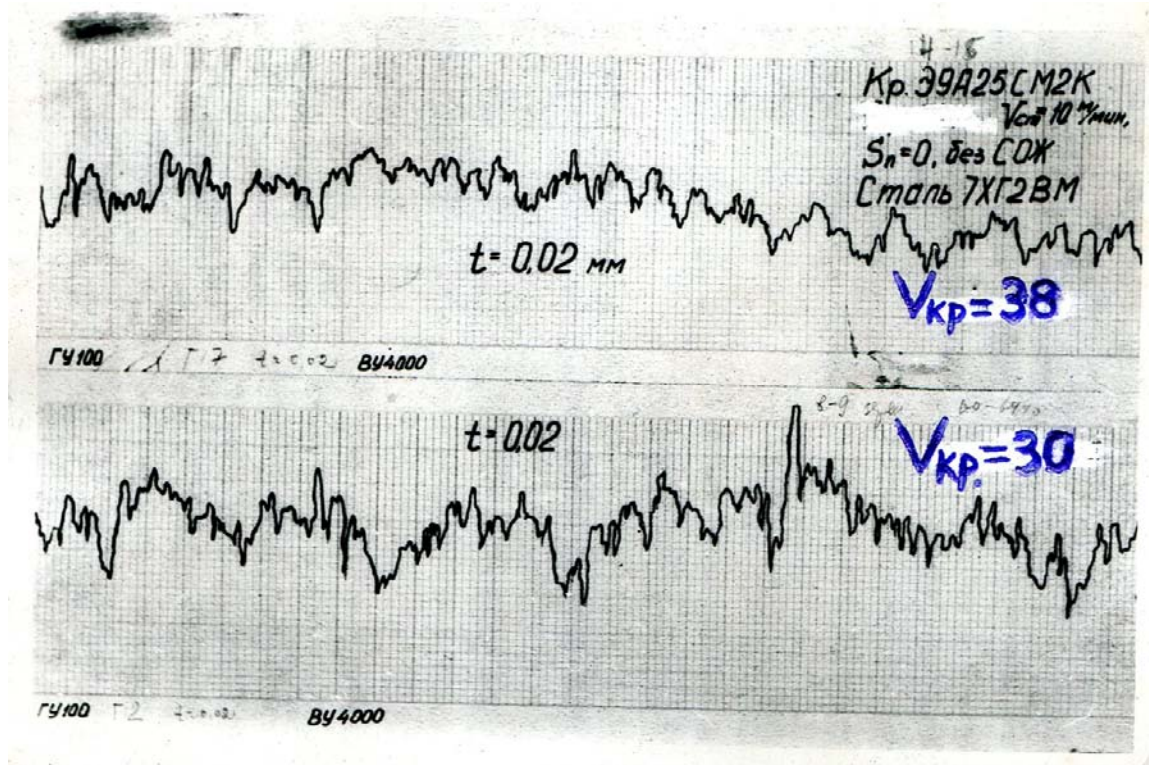


Рис.3. Профилограммы шероховатости поверхности после шлифования прерывистым кругом ($N = 0,6; n = 30$) со скоростями резания $V_{кр} = 38$ м/с (верхняя профилограмма) и $V_{кр} = 30$ м/с (нижняя профилограмма)

Из рис.3 видно, что увеличение окружной скорости шлифовального круга $V_{кр}$ от 30 м/с до 38 м/с привело к уменьшению высоты шероховатости. При обработке со скоростью резания 30 м/с на профилограмме просматриваются явно выраженные чередующиеся выступы и впадины. При шлифовании со скоростью круга 38 м/с характер следов от режущих зерен не имеет явно выраженного чередования выступов и впадин.

За счет увеличения скорости резания $V_{кр}$ можно сместить зону устойчивой работы упругой системы станка в направлении уменьшения количества впадин на рабочей поверхности круга.

Из рис. 4 видно, что увеличение скорости резания $V_{кр}$ от 30 м/с до 38 м/с сдвигает правую точку границы зоны параметрической устойчивости от $n = 60$ до $n = 30$ (при $N = 0,8$), что способствует увеличению производительности изготовления прерывистых кругов и снижению потерь абразивного материала, удаляемого из сплошного круга при формировании впадин.

Выводы

1. Выявлена возможность увеличения производительности формирования впадин прерывистых абразивных кругов на керамической связке при их прорезании на заточном станке с применением делительных механизмов с одновременным снижением потерь абразивного материала, удаляемого при этом из сплошного круга.

2. Теоретически обоснована возможность формирования впадин на прерывистом абразивном круге с использованием дробеструйной установки.

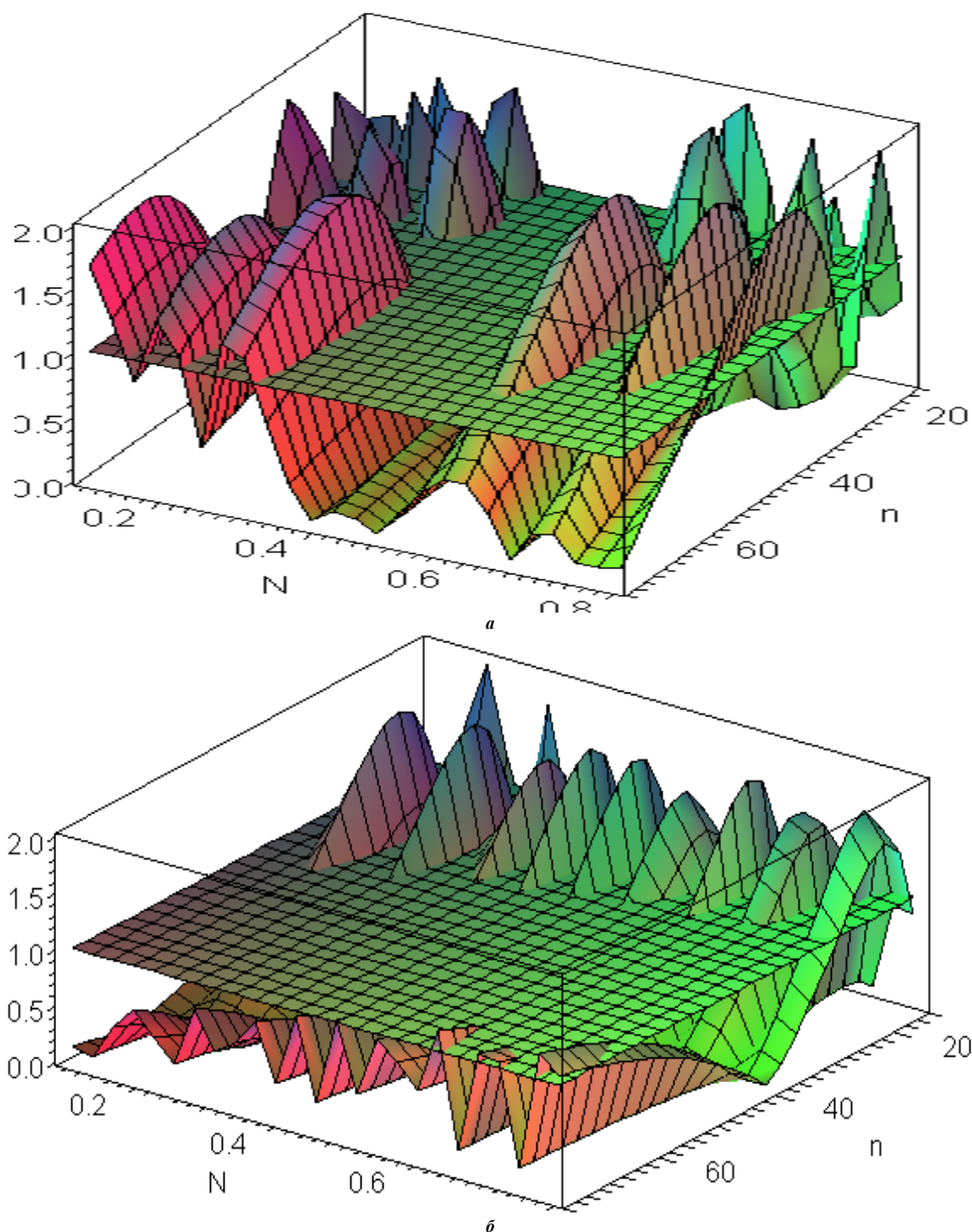


Рис.4. Смещение границы области параметрической устойчивости упругой системы станка в направлении уменьшения количества прорезей n на шлифовальном круге за счет увеличения скорости резания $V_{кр}$ от 30 м/с (а) до 38 м/с (б)

Литература

1. Якимов А.В. Оценка эффективности применения прерывистого шлифования /А.В. Якимов, А.А. Якимов //Физические и компьютерные технологии: Труды 19-й междунар. науч.- техн. конф., 25-26 июня 2014 г. – Харьков: ГП ХМЗ «ФЭД», 2014. – С.61—66.
2. Тепловые процессы при обычном и прерывистом шлифовании : учеб. пособие [для студ. высш. техн.уч. завед.]/А.В. Якимов, Б.О. Ткаченко, С.Г. Зимин, А.А. Якимов, Ф.В. Новиков. Г.В. Новиков, -- Одесса: ОГПУ, 1998. – 272 с.
3. Новиков Ф.В. К вопросу о сущности прерывистого шлифования / Новиков Ф.В., Якимов А.А. //Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн.сб.—Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – С.177-182.
4. Шлифование композиционными кругами /Л.В. Худобин, Н.И. Веткасов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 256 с.

5. Бабанов С.А. Состояние кардиореспираторной системы при пылевых заболеваниях легких: автореф. дис. ... Канд.мед.наук. – Самара, 1999. 24 с.
6. Жестков А.В. Клинические и иммунологические проявления пылевых заболеваний легких: автореф. дис. ... докт. мед. наук. Самара, 2000, 32 с.
7. Пульмонология: Национальное руководство /Под ред.А.Г. Чучалина. – М.: ГЭОТАР медиа, 2009, -- 960 с.
8. Опарин С.М. Влияние конструкции и состава композиционных кругов на производительность процесса шлифования и качество поверхностного слоя изделий из труднообрабатываемого материала/ С.М. Опарин, в.Н. Трусов // Прогрессивные методы финишной абразивной обработки деталей машин и приборов. – Саратов: Изд-во Саратов.ун-та,1983. – С.32-34.
9. Усов А.В. Параметрические резонансы, возникающие при кусочно-постоянном возбуждении упругой системы станка / А.В. Усов, А.А. Якимов // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: Наук. та наук.=вироб. Зб.—Одеса: ОНПУ, 2014. – Вип. 1(43). – С.60-68.
10. Якимов А.А. Особенности прерывистого шлифования / А.А. Якимов, Л.В. Бовнегра // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Міжнар.нау.-технічн. Журнал. – Хмельницький: Хмельницький нац. ун-ет, 2016. -- №1 –С.179-187.
11. Якімов О.О. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару зубів високоточних зубчастих коліс при шліфуванні: автореф. Дис.докт.техн. наук. – Одеса, 2015, --50 с.

References

1. Jakymov, A.V. Ocenka efektyvnosti pryomenenya preryvystoho šlyfovanyja /A.V. Jakymov, A.A. Jakymov //Fyzyčeskye y komp'juternye tehnolohyy: Trudy 19-j meždunar. nauč.- tehn. konf., 25-26 yjunja 2014 h. – Харків: НР ХМЗ «ФЭД», 2014. – С.61—66.
2. Teplovye processy pry obyčnom y preryvystom šlyfovanyu : učeb. posobyje [dlja stud. vysš. techn.uč. zaved.]/A.V. Jakymov, B.O. Tkačenko, S.H. Zymyn, A.A. Jakymov, F.V. Novykov. H.V. Novykov, -- Odessa: OНPU, 1998. – 272 s.
3. Novykov, F.V. K voprosu o suščnosti preryvystoho šlyfovanyja / Novykov F.V., Jakymov A.A. //Rezanye y ynstrument v tehnolohyčeskyx systemax: Meždunar. nauč.-tehn.sb.—Харків: NTU «ХРУ», 2001. – S.177-182.
4. Šlyfovanye kompozycyonnyму kruhamy /L.V. Xudobyn, N.Y. Vetkasov. – UІІjanovsk: UIHTU, 2004. – 256 s.
5. Babanov, S.A. Sostojanye kardyorespyratornoj systemy pry rylevyx zabolevanyjax lehkыx: avtoref. dys.... Kand.med.nauk. – Samara, 1999. 24 s.
6. Žestkov, A.V. Klynyčeskye y immunołohyčeskye projavlenyja rylevyx zabolevanыj lehkыx: avtoref. dys... dokt. med. nauk. Samara, 2000, 32 s.
7. Pul'manolohyja: Nacyonal'noe rukovodstvo /Pod red.A.H. Čučalyna. – М.: НЭОТАР медya, 2009, -- 960 s.
8. Oparyn, S.M. Vlyjanye konstrukcyu y sostava kompozycyonnyx kruhov na proyzvodytel'nost' processa šlyfovanyja y kačestvo poverxnostnogo sloja yzduvelyj yz trudnoobrabatyvaemogo materyala/ S.M. Oparyn, v.N. Trusov // Prohressyvnyye metody fynyšnoj abrazyvnoj obrabotky detalej mašын y pryborov. – Saratov: Yzd-vo Sarat.un-ta,1983. – S.32-34.
9. Usov, A.V. Parametryčeskye rezonansы, voznykajuščыe pry kusočno-postojannom vozbuždennyu upruhoj systemы stanка / A.V. Usov, A.A. Jakymov // Praci Odes'k. politexn. un-tu: Nauk. ta nauk.=vyrob. Zb.—Odesa: ONPU, 2014. – Vyp. 1(43). – S.60-68.
10. Jakymov, A.A. Osobennostы preryvystoho šlyfovanyja / A.A. Jakymov, L.V. Bovnehra // Vymirjuval'na ta občыsljuval'na tehnika v tehnolohičnyx procesax: Mižnar.naku.-tehnіčn. Žurnal. –Xmel'nycykыj: Xmel'nyc'kyj nac. un-et, 2016. -- #1 –S.179-187.
11. Jakimov, O.O. Tehnolohične zabezpečennja jakostі poverxnevoho šaru zubiv vysokotočnyx zubčastyx kolis pry šlifuvanni: avtoref. Dys....dokt.tehn. nauk. – Odessa, 2015, --50 s.

Рецензія/Peer review : 12.6.2016 р.

Надрукована/Printed :27.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією