

УДК 621.922

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА

© 2020 Р.Г. Гришин¹, Д.П. Салова², П.М. Салов²

¹ Самарский государственный технический университет

² Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

Статья поступила в редакцию 20.01.2020

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся влиянию методов правки круга на производительность процесса. Рассмотрены исследования параметры профиля шлифовального круга в зависимости от методов правки. Приведена методика построения огибающей профиля единичной микронеровности, по которой определялись следующие параметры: средняя высота неровностей профиля; средний шаг неровностей профиля по вершинам, попадающим в заданный интервал между двумя диаметрными сечениями; наибольшая высота неровностей профиля, h_{\max} ; относительная опорная длина профиля, а также безразмерный критерий K_γ . Установлено, что большее значение критерия K_γ характеризует большую режущую способность круга, которая зависит от способа правки круга. В работе рассматривалось 3 метода правки: – обкаткой кругами 14А-12-СТ1-К7; точение алмазным карандашом С3и шлифование кругами 14А-12-СТ1-К7. Исследования показали, что максимальная производительность получена при правке методом обкатки точением алмазным карандашом.

Ключевые слова: шлифовальный круг, профиллограмма, методика построения, профиль, производительность, режимы правки, работоспособность, стойкость, ограничения.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-86-90

Научный этап развития технологии машиностроения связан с совершенствованием процесса шлифования поверхностей деталей с заданной точностью и качеством поверхности [1]. В настоящее время большое внимание уделяется повышению производительности процессов окончательной обработки деталей, которая во многом зависит от состояния микропрофиля режущей поверхности абразивного круга [2].

Наиболее распространенным методом определения характеристик микропрофиля круга является снятие профилограмм по принципу ощупывания исследуемой поверхности иглой. Для реализации этого метода была использована специальная установка, которая позволяла записывать микропрофиль при установке кругов на инструментальном микроскопе в направлении перпендикулярном оси круга.

Профиль кругов записывался в четырех диаметральных и осевых сечениях. Увеличение профилограмм по вертикали составляло 1000 или 500, а по горизонтали – 60. Для профилирования абразивных кругов радиус округления иглы выбирался в зависимости от зернистости кругов в пределах

Гришин Роман Георгиевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, станки и инструменты». E-mail: salov-pm@yandex.ru
Салова Дина Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения». E-mail: salov-pm@yandex.ru

Салов Петр Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения». E-mail: salov-pm@yandex.ru

от 0,02 до 0,2 мм. Полученная при записи профилограмма представляет собой траекторию движения центра сферы радиусом r_n .

На рис. 1 показан фрагмент профиля 1, имеющего увеличение по вертикали – K_g , по горизонтали – K_z ($K_g > K_z$). Увеличением размера по горизонтали в K_g/K_z раз получен равноувеличенный профиль 2, характеризующий истинную траекторию движения центра сферы радиусом r_n . Восстанавливая перпендикуляры к касательным в каждой точке профиля и откладывая на них значение r_n , находим огибающий профиль 3. Отличие профиля 3 от реального 4 состоит в том, что на нем отсутствуют участки с большой кривизной. Однако при расчете геометрических параметров профиля указанным отличием можно пренебречь и профиль 3 рассматривать как реальный.

На записанном профиле выбрана произвольная точка К с координатами $(b_3; h_3)$. Касательная к профилю в этой точке составляет с вертикалью угол ϕ_n . На профиле равного увеличения точке

К соответствует точка В $\left(b_3 \frac{K_g}{K_z}; h_3 \right)$ с углом

наклона касательной ϕ'_n . Касательные к точкам К и В пересекутся на оси координат в точке F с

ординатой $y_1 = OF = h_3 - \frac{b_3}{f'_1(y)}$, где $f'_1(y)$ –

производная функции, описывающей записанный профиль.

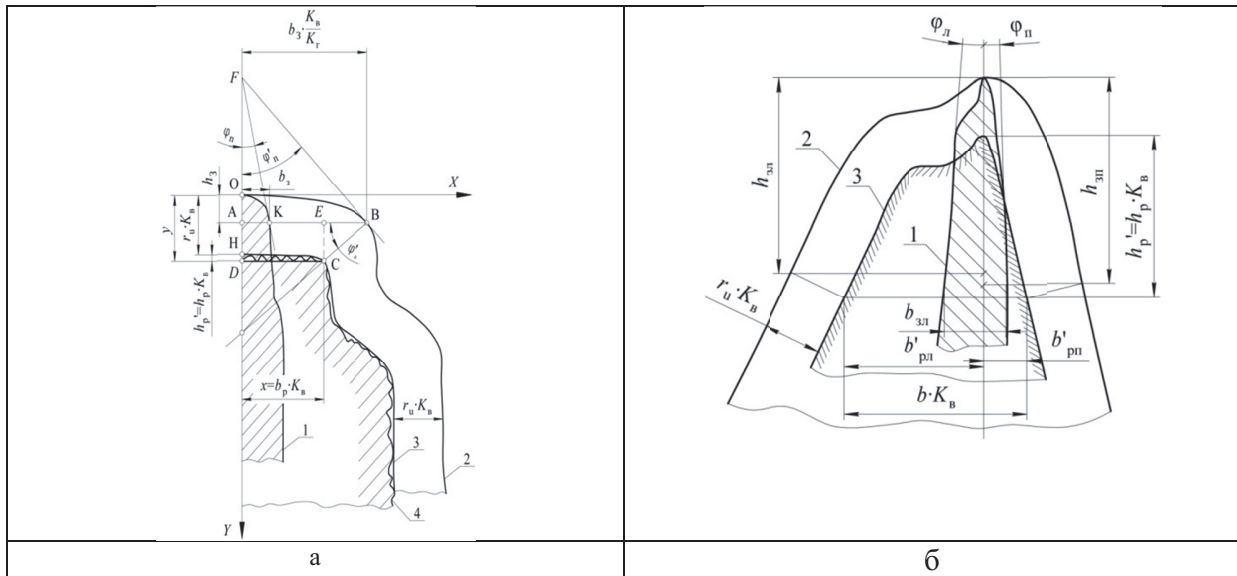


Рис. 1. Расчетная схема для определения размеров огибающего профиля (а) и построение реального несимметричного профиля (б):
 1 – записанный профиль; 2 – профиль равноувеличенный ($\times K_6$);
 3 – огибающий профиль; 4 – реальный профиль

Сказанное вытекает из решения системы уравнений для касательных к профилям 1 и 2 в точках пересечения с линией, параллельной оси x .

При профилировании, когда центр сферы совпадает с точкой В, измерительная игла контакт с огибающим профилем 3 осуществляет в точке С(X ; Y).

Учитывая, что соотношение между углами наклона касательных к точкам К и В с вертикалью выражается как $tg \varphi'_n = tg \varphi_n \cdot \frac{K_6}{K_2}$, то зависи-

мость, связывающая соответствующие высоты реального профиля (h_p) с записанным (h_3), имеет вид

$$h_p = \frac{h_3}{K_6} - r_u \left[1 - \frac{\frac{K_6}{K_2} tg \varphi_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_6}{K_2} tg \varphi_n\right)^2}} \right] = \frac{h_3}{K_6} - \psi_1. \quad (1)$$

Аналогично определяется общая ширина реального симметричного выступа ($2b_p$) в расчетном сечении:

$$2b_p = 2 \left[\frac{b_3}{K_2} - \frac{r_u}{\sqrt{1 + \left(\frac{K_6}{K_2} tg \varphi_n\right)^2}} \right] = \frac{2b_3}{K_2} - 2\psi_2. \quad (2)$$

Здесь ψ_1 и ψ_2 – функции, характеризующие погрешность записи соответственно по высоте и ширине профиля.

Как следует из зависимостей (1) и (2), по-

грешности записи прямо пропорциональны радиусу закругления измерительной иглы и в значительной степени зависят от заостренности выступов микропрофиля. Например, даже при столь малом радиусе, как $r_u=0,005$ мм, когда $K_6=1000$, $K_2=60$, $h_3=3$ мм и $\varphi_n=5^\circ$, погрешности по высоте и ширине профиля составляют соответственно: $\Delta h=33\%$ и $\Delta b=146\%$. Следовательно, при обработке профилограмм, как правило, в большинстве случаев необходимо вносить уточнения.

Расчет ширины несимметричного реального выступа представляет некоторую сложность.

Как видно из рис. 1, сечение реального профиля 3 на высоте $h'_p = h_p \cdot K_6$ вызывает необходимость измерения на профилограмме левой части ширины выступа $b_{3л}$ на высоте $h_{3л}$, а правой части ширины $b_{3п}$ на высоте $h_{3п}$.

Зависимости между значениями $h_{3п}$ и $h_{3л}$ неизвестны. Ширину реального выступа определяют графоаналитическим методом в следующей последовательности:

- задаваясь значением $h_{3л}$, по формуле (1) определяют h_p ;
 - пользуясь профилограммой, по формуле (2) определяют такое значение $h_{3п}$ ($h_{3л}$), при котором обеспечивается уже известная h_p ;
 - определяют $b_{3л}$ и $b_{3п}$ на соответствующих высотах;
 - пользуясь формулой (2), определяют $b_{пл}$ и $b_{пл}$. Их сумма равна ширине выступа на глубине h_p .
- Реальный контур профиля можно построить графически, как это показано на рис. 1 б.

Рассматривались следующие параметры записанного микропрофиля: средняя высота неровностей профиля; средний шаг неровностей

профиля по вершинам, попадающим в заданный интервал между двумя диаметрными сечениями; наибольшая высота неровностей профиля, h_{\max} ; относительная опорная длина профиля, которая определялась по общепринятой методике.

Относительные характеристики микропрофилей оценивались методом сравнения профилограмм, разработанным [3,4].

Используя дивергенцию Кульбака, они предложили критерий сравнительной оценки шероховатой поверхности K_γ . Суть метода поясняется рис. 2.

Выбирается базовая профилограмма, которая ограничивается сверху уровнем $x(e)$, а снизу – $y(e)$. Высота ее профиля должна быть меньше, чем на сравниваемой профилограмме. Затем уровни $x(e)$ и $y(e)$ наносятся на сравниваемую профилограмму так, чтобы средние линии их совпадали.

Исходя из теории выбросов область B , расположенная между $x(e)$ и $y(e)$, называется разрешенной, а области A и C – запрещенными. Задача сводится к определению вероятности нахождения процесса в одном из трех состояний.

Если $P(a)$, $P(b)$, $P(c)$ – вероятность того, что исследуемый процесс будет находиться в областях A , B и C .

Значение K_γ изменяется от 0, когда исследуемый процесс не выходит за граничные уровни базового, до 1, когда исследуемый процесс полностью выходит за эти уровни.

Если необходимо определить только отклонение реального профиля от базового, достаточно рассчитать значение $P(b)$. Рассмотренная методика нами применена для сравнения микропрофилей кругов после правки. При анализе профилограмм микропрофиля круга увеличение $P(a)$ характеризует большую заостренность зерен, а увеличение $P(c)$ – большой объем для размещения стружки.

Шаг квантования профилограммы выбирался равным четверти шага тех высокочастотных неровностей, которые нужно учитывать [5, 6]. При выбранном масштабе записи (1000×60) и

радиусе измерительной иглы 0,02–0,04 мм шаг квантования составлял одно деление сетки на термостатической бумаге. Длины профилограмм определяли по рекомендациям работ [7, 8].

Профилограммы для сравнения по критерию K_γ снимались с одного и того же круга при различных его состояниях. Исходя из принятой методики за базовый принимался профиль, снятый с самой неблагоприятной микрогеометрии круга в данной серии. Поэтому большее значение критерия K_γ характеризует большую режущую способность круга.

Для примера рассмотрим использование критериальной оценки условий правки эльборовых кругов Л10-СТ1-100 на керамической связке при внутреннем шлифовании закаленных сталей 30ХГСН2А (HRC 48–52) и 8Х4В9Ф2А (HRC 64–66).

При шлифовании стали 30ХГСН2А на щадящих режимах, например с малой поперечной подачей, исходные микропрофили круга постепенно «прирабатываются» к квазистабильному, который работает в режиме самозатачивания, обеспечивая постоянную производительность.

Правка методом шлифования, в отличие от других рассматриваемых методов, обеспечивает неполноценный микропрофиль, который, работая в условиях самозатачивания, может приобрести параметры квазиустановившегося или может стать неработоспособным. Линейный износ его в период приработки может быть в какой-то момент даже меньше, чем в установившемся режиме. Фактически износ происходит за счет увеличения межзернового пространства, о чем свидетельствует увеличение K_γ в первую очередь за счет увеличения вероятности $P(c)$.

Саморазвитие профиля обеспечивает сливная стружка, которая, врезаясь в круг, разрушает связку, а также выкрашивание больших фрагментов микропрофиля. При этом объем зазора в контакте инструмент – изделие должен быть достаточным для осуществления процесса резания.

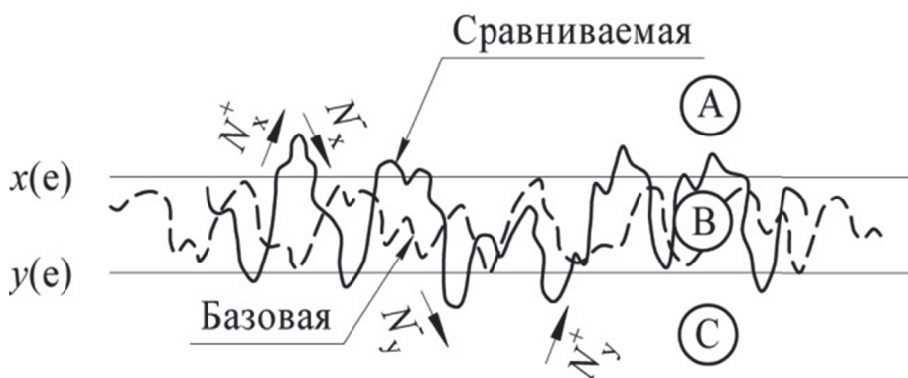


Рис. 2. Наложение границ базовой профилограммы на сравниваемую

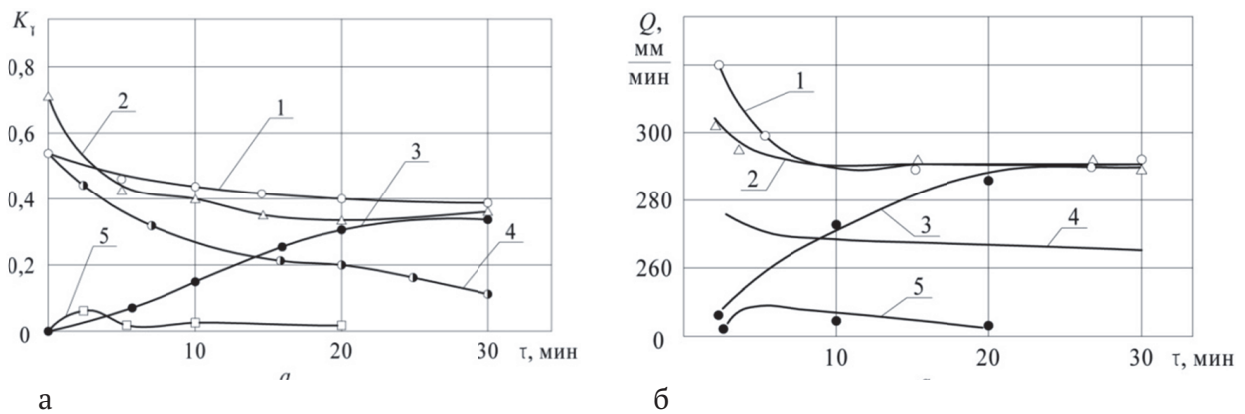


Рис. 3. Изменение критерия K_γ (а) и производительность процесса шлифования (б) при работе после правки круга различными методами:
 1, 4 – обкаткой кругами 14А-12-СТ1-К7; 2 – точение алмазным карандашом С3;
 3, 5 – шлифование кругами 14А-12-СТ1-К7

Увеличение объема срезаемой стружки может привести к засаливанию «недоразвитого» профиля. На рис. 3 б кривая 3 показывает, что заполнение межзернового пространства стружкой начинается на второй - третьей минуте процесса.

Микропрофили круга, полученные правкой алмазным карандашом или методом обкатки, осуществляют устойчивый процесс шлифования стали 30ХГСН2А.

Несколько иной механизм развития процесса наблюдается при шлифовании стали 8Х4В9Ф2А, закаленной до 64–66 НRC. При работе с малыми поперечными подачами самозатачивания микропрофиля не происходит (рис. 3 а), производительность процесса со временем падает (рис. 3, б). Более интенсивное ухудшение микропрофиля наблюдается с увеличением поперечной подачи. Он постепенно сглаживается, во впадинах его виден металлический блеск от застрявшей там весьма короткой и порошкообразной стружки. Таким образом усилие шлифования со временем быстро возрастают, увеличивается температура, появляются автоколебания, круг теряет свою работоспособность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носов Н.В., Кравченко Б.А. Технологические основы проектирования абразивных инструментов: М.: Машиностроение-1, 2003. 257 с.
2. Салова Д.П. Моделирование профиля рабочей поверхности шлифовального круга с использованием принципов естественной прирабатываемости: Дисс. ...канд.техн.наук: 05.03.01/ Самарский гос. техн. ун-т – Самара – 2007 -231с.

3. Захаров О.В. Расчет ведущих кругов бесцентровых шлифовальных станков // Вестник машиностроения. 2009. №4. С. 77-80.
4. O.V. Zakhazov, A.F. Balaev, and A.V. Kochetkov. Modeling Optimal Path of Touch Sensor of Coordinate Measuring Machine Based on Traveling Salesman Problem Solution. Procedia Engineering. 2017, Vol. 206, Pp. 1458-1463.
5. A.F. Rezchikov, A.V. Kochetkov, and O.V. Zakharov. Mathematical models for estimating the degree of influence of major factors on performance and accuracy of coordinate measuring machines. MATEC Web Conf. 2017.Vol.129.Pp.01054.
6. Y. Melnik, S. Zaides, N. Bobrovskij, N.C. Cuong, O. Levitskih, P. Salov, A. Lukyanov. Determination of the stress state in the deformation zone under local loading. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 052080. IOP Publishing
7. M. Zykova, S. Zaides, N. Bobrovskij, L.H. Quang, O. Levitskih, P. Salov, A. Lukyanov. Calculating the process of straightening low-stiff cylindrical parts by cross-rolling with smooth plates. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 315 (2019) 052044. IOP Publishing
8. A.V. Kochetkov, P.M. Salov, and O.V. Zakharov. Route Optimization in Measuring Surfaces on Coordinate Measuring Machines. IEEE Conference Proceedings. 2019. 3rd School on Dynamics of Complex Networks and their Application in Intellectual Robotics. Pp. 85 – 88.

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE GRINDING
WHEEL EDITING PROCESS ON THE PROCESS PERFORMANCE**

© 2020 R.G. Grishin¹, D.P. Salova², P.M. Salov²

¹ Samara State Technical University

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary

The article deals with issues related to the impact of circle editing methods on the performance of the process. The main parameters of the grinding wheel profile depending on the editing methods are considered. The method of constructing the envelope of a single profile of the surface roughness, which was determined by the following parameters: the average height of roughness, average step of roughness of the profile vertices that fall in a given interval between two diametrical sections; maximum height of roughness profile, h_{max} ; the relative reference length of the profile, as well as the dimensionless criterion. It is established that the higher value of the criterion characterizes the greater cutting capacity of the circle, which depends on the method of editing the circle. The paper considered 3 methods of editing: - running in circles 14A-12-ST1-K7; turning with a diamond pencil C3 and grinding circles 14A-12-ST1-K7. Studies have shown that the maximum performance is obtained when editing by running-in with a diamond pencil.

Keywords: grinding wheel, profilogram, construction method, profile, performance, editing modes, performance, durability, limitations.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-2-86-90

Roman Grishin, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department «Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tools». E-mail: salov-pm@yandex.ru

Dina Salova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technology of mechanical engineering». E-mail: salov-pm@yandex.ru

Petr Salov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology of Mechanical Engineering». E-mail: salov-pm@yandex.ru