

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЗУБОШЛИФОВАНИИ ПО МЕТОДУ ПРОФИЛЬНОГО КОПИРОВАНИЯ

Получена аналитическая зависимость для определения шероховатости поверхности при зубошлифовании по методу профильного копирования и установлены условия ее уменьшения. Показано определяющее влияние на шероховатость поверхности зернистости абразивного круга. Произведен расчет шероховатости поверхности для условий глубинного шлифования высокопористым абразивным кругом и определены значения оптимальной зернистости круга. Показано, что наряду с обеспечением требуемой шероховатости поверхности, применение высокопористых кругов также позволяет повысить качество и точность обработки.

Ключевые слова: зубошлифование, абразивный круг, обрабатываемый материал, метод профильного копирования, шероховатость поверхности.

Гершиков І.В., Новіков Ф.В., Анділахай В.О. Розрахунок параметрів шорсткості поверхні при зубошліфуванні по методу профільного копіювання. Отримано аналітичну залежність для визначення шорсткості поверхні при зубошліфуванні по методу профільного копіювання й установлені умови її зменшення. Показано визначальний вплив на шорсткість поверхні зернистості абразивного круга. Зроблено розрахунок шорсткості поверхні для умов глибинного шліфування високопористим абразивним кругом і визначені значення оптимальної зернистості круга. Показано, що поряд із забезпеченням необхідної шорсткості поверхні, застосування високопористих кругів також дозволяє підвищити якість і точність обробки.

Ключові слова: зубошліфування, абразивний круг, оброблюваний матеріал, метод профільного копіювання, шорсткість поверхні.

Gershikov I.V., Novikov F.V., V.A. Andilahay. Calculation of the surface roughness with a profile-grinding method for copying. The analytical dependence for the determination of surface roughness of tooth-grinding method for copying a profile and establish conditions for its reduction. Displaying a decisive influence on the surface roughness of grit abrasive wheel. The calculation of the surface roughness for the conditions of creep feed grinding highly porous abrasive wheel and the values of the optimal granularity of the circle. It is shown that in addition to providing the required surface roughness, the use of highly circles also improves the quality and accuracy.

Keywords: tooth-grinding, grinding wheel, the processed material, the method of copying the profile, the roughness of the surface.

Постановка проблемы. В последние годы в связи с созданием и широким применением эффективных высокопористых абразивных кругов появилась тенденция перехода от зубошлифования по методу обкатывания к прогрессивной технологии зубошлифования по методу профильного копирования, реализующего схему глубинного шлифования [1]. Вместе с тем, как показывает практика, высокопористые абразивные круги не обеспечивают необходимую шероховатость поверхности, а это требует снижения режимов шлифования и производительности обработки, что ограничивает возможности эффективного применения технологии зубошлифования по методу профильного копирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Для решения задачи эффективного применения зубошлифования по методу профильного копирования важно знать оптимальные условия обработки, обеспечивающие требуемую шероховатость поверхности в условиях глубинного шлифования. Как известно, вопросам теоретического определения шероховатости поверхности при абразивной обработке, в особенности при шлифовании, в научно-технической литературе уделено большое внимание [2]. Создание теоретико-вероятностного подхода к расчету параметров шероховатости поверхности при шлифовании [3] открыло принципиально новые возможности анализа закономерностей формирования поверхности и определения условий интенсификации процесса шлифования с учетом требований по шероховатости обработанной

поверхности. Однако, более глубокому исследованию закономерностей формирования шероховатости поверхности при шлифовании должен предшествовать упрощенный анализ, основанный на геометрическом представлении шероховатого слоя обработанной поверхности без учета вероятностного характера участия абразивных зерен в резании [4]. Это позволит более полно и в системном виде раскрыть сложные закономерности образования шероховатости поверхности при шлифовании.

Цель работы – обоснование оптимальных условий зубошлифования по методу профильного копирования с учетом ограничений по шероховатости поверхности.

Изложение основного материала. Произведем упрощенный расчет шероховатости поверхности, формируемой в процессе зубошлифования по методу профильного копирования

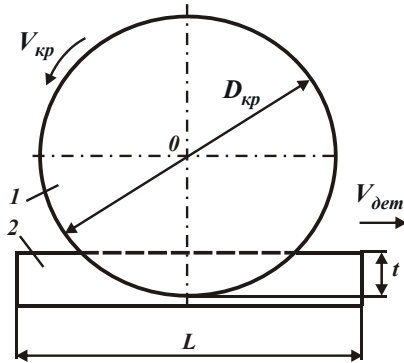


Рис. 1 – Расчетная схема шероховатости на боковой поверхности зуба колеса при шлифовании торцом круга: 1 – круг; 2 – зуб колеса

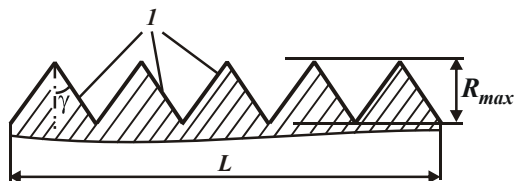


Рис. 2 – Расчетная схема максимальной высоты микронеровности на обработанной поверхности R_{max} : 1 – микронеровности

где $\tau_0 = \frac{\pi \cdot D_{кр}}{V_{кр}}$ – время одного вращения круга, с;

$D_{кр}$ – диаметр круга, м;

$V_{кр}$ – скорость круга, м/с.

Время τ может быть определено по зависимости:

$$\tau = \frac{L}{V_{дет}}, \quad (3)$$

где $V_{дет}$ – скорость перемещения детали (скорость перемещения круга вдоль обрабатываемого зуба колеса), м/с.

Тогда

$$i = \frac{L}{\pi \cdot D_{кр}} \cdot \frac{V_{кр}}{V_{дет}}. \quad (4)$$

Количество абразивных зерен, расположенных на торцовой рабочей поверхности круга и участвующих в процессе резания, определяется

(рис. 1). Рассмотрим условия образования шероховатости на боковой поверхности зуба зубчатого колеса за один проход круга. Будем считать, что формирование шероховатости поверхности происходит в результате взаимодействия абразивных зерен, расположенных на торцовой поверхности круга, с боковой поверхностью зуба колеса в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. 1. Предположим, что за время одного прохода круга в резании приняло участие z зерен круга, которые равномерно оставили свои следы на условной горизонтальной плоскости, расположенной перпендикулярно торцовой поверхности абразивного круга. Тогда упрощенно шероховатый слой обработанной поверхности можно представить в виде, показанном на рис. 2, с учетом образования регулярной шероховатости (с одинаковой высотой микронеровностей R_{max} и с одинаковым шагом микронеровностей). Параметр шероховатости поверхности R_{max} установим из условия:

$$2 \cdot R_{max} \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot z = L, \quad (1)$$

где γ – угол наклона микронеровностей;

L – длина обрабатываемого зуба колеса, м.

Количество абразивных зерен z , участвующих в формировании шероховатости поверхности, определим следующим образом. За время одного продольного хода круга вдоль обрабатываемого зуба τ , круг совершил i вращений:

$$i = \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (2)$$

$$z_0 = k \cdot \frac{R_{max}}{b} \cdot \pi \cdot D_{кр} \cdot t, \quad (5)$$

где k – поверхностная концентрация зерен круга, шт/м²;

b – максимальная высота выступления абразивных зерен над уровнем связки круга, м;

t – расстояние от условной горизонтальной плоскости зуба (в которой рассматривается формирование шероховатости поверхности) до периферии шлифовального круга (рис. 1).

Тогда суммарное количество абразивных зерен z , участвующих в формировании шероховатости поверхности, выразится

$$z = i \cdot z_0 = k \cdot \frac{R_{max}}{b} \cdot \frac{V_{кр}}{V_{дем}} \cdot t \cdot L. \quad (6)$$

Зная величину z , из условия (1) определим параметр шероховатости поверхности R_{max} :

$$R_{max} = \sqrt{\frac{b \cdot V_{дем}}{2 \cdot tg \gamma \cdot k \cdot t \cdot V_{кр}}}. \quad (7)$$

Как следует из полученной зависимости (7), параметр шероховатости поверхности R_{max} в одинаковой степени зависит от всех входящих параметров. Уменьшить R_{max} можно уменьшением параметров b , $V_{дем}$ и увеличением γ , k , t и $V_{кр}$. Очевидно, наименьшая шероховатость поверхности будет достигаться в условной горизонтальной плоскости, проходящей через вершину зуба, поскольку в этом случае параметр t принимает наибольшее значение. В нижней точке обрабатываемой впадины зуба параметр шероховатости поверхности R_{max} будет принимать наибольшее значение, т.к. параметр t будет минимальным. В связи с этим, для уменьшения параметра шероховатости поверхности R_{max} для небольших значений t , необходимо уменьшать параметров b , $V_{дем}$ и увеличивать γ , k и $V_{кр}$.

По физической сути между параметрами k и b должна существовать аналитическая связь. Для ее установления воспользуемся методикой расчета, предложенной в работе [5]. Параметр b представим в виде

$$b = (1 - \varepsilon) \cdot \bar{X}, \quad (8)$$

где $(1 - \varepsilon)$ – безразмерный коэффициент, учитывающий степень выступления абразивного зерна над уровнем связки круга;

\bar{X} – зернистость круга, м.

Применительно к алмазному кругу параметр k может быть аналитически описан зависимостью [6]:

$$k = \frac{3 \cdot m \cdot (1 - \varepsilon)}{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^2}, \quad (9)$$

где m – объемная концентрация круга.

Параметр m , по сути, является безразмерной величиной. Например, для алмазного круга 100 %-ной концентрации $m=100$. В этом случае объем зерен составляет 25 % от объема алмазного круга [7], остальные 75% составляет связка. Как известно, содержание зерна в абразивном круге по объему больше, чем в алмазном круге. Так, 25 %-му содержанию зерен в объеме круга соответствует высокопористая структура №18 абразивного круга. Все остальные структуры абразивного круга характеризуются большим содержанием зерен в круге. Например, структура №1 предполагает содержание в круге по объему 60% зерен.

С учетом зависимостей (8) и (9) отношение b/k , входящее в зависимость (7), выразится

$$\frac{b}{k} = \frac{200 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{m}. \quad (10)$$

Подставляя зависимость (10) в зависимость (7), имеем

$$R_{max} = \sqrt{\frac{100 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дем}}{tg \gamma \cdot m \cdot t \cdot V_{кр}}}. \quad (11)$$

Из преобразованной зависимости (11) следует, что наибольшее влияние на параметр шероховатости поверхности R_{max} оказывает зернистость круга \bar{X} . Поэтому добиться снижения шероховатости поверхности можно в первую очередь за счет уменьшения зернистости круга \bar{X} . Однако, как известно, уменьшение зернистости круга \bar{X} приводит к снижению режущей способности круга. В этом плане теряется преимущество от применения высокопористых абразивных кругов, обладающих высокой режущей способностью и позволяющих существенно повысить производительность обработки. В связи с этим, важно обеспечить такие условия обработки, при которых бы одновременно достигались высокие показатели шероховатости и производительности обработки. Исходя из зависимости (11), ими являются увеличение скорости круга $V_{кр}$ и уменьшение скорости детали $V_{дет}$. Поскольку увеличение скорости круга $V_{кр}$ предполагает увеличение температуры шлифования и снижение качества обработки, то единственным возможным путем уменьшения шероховатости поверхности в этом случае может быть уменьшение скорости детали $V_{дет}$ или (что фактически равнозначно) увеличение количества проходов круга вдоль обрабатываемого зуба колеса (по схеме выхаживания).

Необходимо отметить, что увеличение количества проходов круга также предполагает и обеспечение требуемой точности обработки. Поэтому выбор оптимальной скорости детали $V_{дет}$ следует производить в каждом конкретном случае в зависимости от требований по шероховатости и точности обрабатываемой поверхности.

Произведем расчет параметра шероховатости поверхности R_{max} в соответствии с зависимостью (11) для следующих исходных данных: $\gamma=45^{\circ}$; $m=100$; $t=10$ мм; $V_{кр}=40$ м/с; $V_{дет}=0,3 \dots 3$ м/мин; $\bar{X}=0,1 \dots 0,5$ мм. В табл. 1 приведены рассчитанные по зависимости (11) значения параметра шероховатости поверхности R_{max} для различных значений зернистости круга \bar{X} и скорости детали $V_{дет}$.

Таблица 1
Расчетные значения параметра шероховатости поверхности R_{max} (в мкм)

$V_{дет}$, м/мин	\bar{X} , мм				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,3	0,114	0,322	0,592	0,912	1,275
0,8	0,186	0,526	0,97	1,49	2,08
3	0,36	1,018	1,872	2,883	4,03

Учитывая то, что между параметрами шероховатости поверхности R_{max} и R_a существует связь [2]: $R_{max}/R_a \approx 5$, в табл. 2 и на рис. 3 приведены расчетные значения параметра шероховатости поверхности R_a для различных значений зернистости круга \bar{X} и скорости детали $V_{дет}$.

Таблица 2
Расчетные значения параметра шероховатости поверхности R_a (в мкм)

$V_{дет}$, м/мин	\bar{X} , мм				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,3	0,023	0,064	0,118	0,182	0,255
0,8	0,037	0,105	0,194	0,298	0,416
3	0,072	0,204	0,374	0,577	0,806

Как видно, с увеличением зернистости круга \bar{X} в пределах 0,1...0,5 мм при скорости детали $V_{дет}=0,3$ м/мин (т.е. для условий глубинного шлифования) параметр шероховатости поверхности R_a изменяется в пределах 0,023...0,255 мкм, а при скорости детали $V_{дет}=3$ м/мин – в пределах 0,072...0,806 мкм. Поскольку высокопроизводительное глубинное шлифование предполагает применение крупнозернистых высокопористых абразивных кругов, то обеспечение параметра шероховатости поверхности $R_a=0,806$ мкм при зернистости круга $\bar{X}=0,5$ мм вполне соответствует требованиям по шероховатости обработки на операции зубошлифования по методу профильного копирования. Таким образом, расчетами установлено, что применение высо-

копористых абразивных кругов на операциях зубошлифования по методу профильного копирования позволяет добиться требуемой шероховатости поверхности.

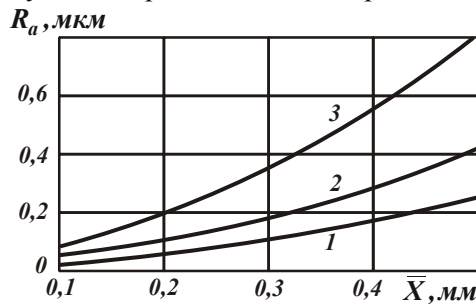


Рис. 3 – Зависимость параметра шероховатости поверхности R_a от зернистости круга \bar{X} : 1– $V_{дет} = 0,3$ м/мин; 2 – $V_{дет} = 0,8$ м/мин; 3 – $V_{дет} = 3$ м/мин

Как известно, применение высокопористых абразивных кругов также позволяет существенно уменьшить температуру шлифования и обеспечить высокие требования по точности обработки. Следовательно, осуществляя зубошлифование по методу профильного копирования, можно одновременно обеспечить требования по качеству и точности обрабатываемых поверхностей, включая состояние поверхностного слоя детали (исключаются температурные дефекты на обрабатываемых поверхностях), параметры шероховатости и точности обработки. При этом также достигается увеличение производительности обработки по сравнению с зубошлифованием по методу обкатывания, когда реализуется схема многопроходного шлифования.

Выводы

1. Получена аналитическая зависимость для определения шероховатости поверхности при зубошлифовании по методу профильного копирования и установлены условия ее уменьшения. Показано определяющее влияние на шероховатость поверхности зернистости абразивного круга.
2. Произведен расчет шероховатости поверхности для условий глубинного шлифования высокопористым абразивным кругом и определены значения оптимальной зернистости круга. Показано, что наряду с обеспечением требуемой шероховатости поверхности, применение высокопористых кругов также позволяет повысить качество и точность обработки.

Список использованных источников:

1. Кашук В.А. Справочник шлифовщика / В.А. Кашук, А.Б. Верещагин. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.
2. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход) / А.П. Хусу, Ю.Р. Витенберг, В.А. Пальмов. – М.: Гл. ред. физ.-мат. литературы изд-ва "Наука", 1975. – 344 с.
3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Саратов, 1979. – 232 с.
4. Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / В.Г. Шкурупій. – Одеса, 2006. – 21 с.
5. Алмазно-абразивная обработка материалов: справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
6. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 "Процессы механической обработки, станки и инструменты" / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с.
7. Кашук В.А. Справочник заточника / В.А. Кашук, А.Д. Мелехин, Б.П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.

Bibliography:

1. Kashuk V.A. Spravochnik shlifovshika / V.A. Kashuk, A.B. Vereshchagin. – M.: Mashinostroense, 1988. – 480 s.

2. Sherokhovatost poverkhnostey (teoretiko-veroyatnostny podkhod) / A.P. Husu, Y.R. Wittenberg, V.A. Palma. – M.: Gl. red. fiz.-mat. literatury izd-va "Nauka", 1975. – 344 s.
3. Novoselov J.K. Dsnamika formoobrazovaniy poverkhnostey pri abrazivnoy obrabotke / J.K. Novoselov. – Saratov, 1979. – 232 sc.
4. Shkurupiy V.G. Pidvischennya efektyvnosti tehnologii finishnoi obrobki svitlovidbivayuchih poverhon details iz thin sheet i strichok: Authoref. dis. on zdobuttya nayk. stupenya cand. tehn. nauk: spets. 05.02.08 "Tehnologiya machinobuduvannya" / V.G. Shkurupiy. – Odesa, 2006. –21 s.
5. Almazno-abrazivnay obrabotka materialov: spravochnik / Pod red. prof. A.N. Reznikova. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 390 s.
6. Novikov F.V. Fizicheskie i kinematicheskie osnovy vysokoproizvoditelnogo almaznogo shlifovaniy: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni dokt. tekhn. nayk: spets. 05.03.01 "Protsessy mekhanicheskoy obrabotki, stanki i instrumenty" / F.V. Novikov. – Odessa, 1995. – 36 s.
7. Kashuk V.A. Spravochnik zatochnika / V.A. Kashuk, A.D. Melekhin, B.P. Barmin. – M.: Mashinostroense, 1982. – 232 s.