

УДК 621.923

Н.В. Азарова, канд. техн. наук

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83000

info@dgtu.donetsk.ua

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПО ЗАДАННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предложена программа для определения на ПЭВМ режимов плоского алмазного шлифования, обеспечивающих заданные параметры шероховатости обработанной поверхности, с учетом радиальных колебаний шлифовального круга.

Ключевые слова: алмазное шлифование, шероховатость поверхности, режимы обработки.

Для обеспечения требуемых значений эксплуатационных показателей деталей машин в ходе механической обработки необходимо сформировать определенную совокупность геометрических и физико-механических параметров качества их поверхностей, что наиболее часто достигается на технологических операциях шлифования, позволяющих обеспечить высокие точность размеров и качество обрабатываемой поверхности.

При изготовлении изделий из труднообрабатываемых материалов в настоящее время в качестве чистовой операции используется алмазное шлифование кругами на металлических связках с электроэрозионным воздействием на рабочую поверхность круга (РПК), как на стадии правки, так и в процессе шлифования. При этом заданные параметры качества шлифованных поверхностей, в частности параметры шероховатости, обеспечиваются, как правило, подбором условий обработки.

В настоящее время существует два подхода к назначению режимов шлифования: режимы, обеспечивающие регламентируемые параметры шероховатости поверхности, определяют из зависимостей, найденных экспериментально, либо рассчитывают аналитически [1]. Большинство предлагаемых методик расчета основано на допущении об абсолютной жесткости системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД). В этом случае не учитывается влияние имеющихся всегда в наличии колебаний системы СПИД (в частности, вынужденных колебаний, вызванные дисбалансом круга, которые балансировкой можно только уменьшить, но не устранить) на параметры шероховатости обработанной поверхности, что может привести к существенному расхождению теоретически полученных результатов с данными реальной обработки. В связи с этим определение механических режимов, обеспечивающих заданные параметры шероховатости шлифованной поверхности, с учетом возникающих при обработке радиальных колебаний шлифовального круга, является актуальной задачей.

Целью работы является аналитическое определение режимов плоского алмазного шлифования, обеспечивающих заданные параметры шероховатости обработанной поверхности, с учетом геометрических параметров РПК и параметров радиальных колебаний шлифовального круга, возникающих в процессе обработки.

Предложенная нами методика [2] расчета комплекса параметров шероховатости шлифованной поверхности, предусмотренных ГОСТом [3], позволяет решить и обратную задачу: зная геометрические параметры режущей поверхности круга и параметры радиальных колебаний, возникающих в процессе шлифования, рассчитать режимы обработки, обеспечивающие заданную максимальную высоту неровностей профиля R_{max} (или высоту микронеровностей R_z).

Исходными данными для расчета являются:

1) элементы профиля рабочей поверхности круга – угол заострения ε , градус, и радиус округления ρ , мкм, вершины зерна; расстояние s_{3n} между зернами на рабочей поверхности,

мм; параметры α, β функции распределения разнорысотности зерен $F(\Delta R)$ установившегося рельефа РПК;

2) режимы обработки – скорость круга v_k , м/с; скорость детали v_d , м/мин; фактическая глубина шлифования t_ϕ , мм;

3) геометрические размеры круга – радиус круга R_k , мм;

4) амплитуда A , мкм, и частота f , Гц, радиальных колебаний шлифовального круга;

5) величина интервала расчета ΔR , мкм.

Используя паспортные данные станка, которые определяют скорость круга v_k , можно найти продольную скорость стола (скорость детали) v_d . Рассчитанная таким образом скорость детали $v_{d.p.}$ обеспечивает не только заданную высоту неровностей, но и определяет максимальную производительность на данном оборудовании при заданной высоте шероховатости, если при этих режимах не наблюдаются нежелательные изменения физико-механических свойств поверхностного слоя. Действительно, устанавливая $v_d < v_{d.p.}$, мы обеспечим заданную высоту неровностей, но необоснованно уменьшим производительность.

Для определения условий перекрытия срезов при расчете высоты микронеровностей R_z или максимальной высоты неровностей профиля R_{max} используется соотношение (1), которое позволяет определить момент перекрытия срезов по известным скоростям v_d, v_k , параметрам радиальных колебаний, а также параметрам РПК.

$$\frac{60v_k}{v_d s_{3n}^2} \sqrt{2R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} \cdot \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^{N-i+1} (\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2}) \times \left[k \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \sum_{j=0}^{N_1+i-2} A_{y_j} \right) + k \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) \right) \cdot b \left(N_1 \cdot \Delta R - \left(\sum_{j=1}^N A_{y_j} + \sum_{j=N_1+i}^N A_{y_j} \right) \right) \right] \geq 10^3, \quad (1)$$

где N – количество исследуемых интервалов, $N=1, 2, \dots, K$;

i – номера исследуемых интервалов, $i=1, 2, \dots, N$;

N_1 – участки поверхности круга, обрабатывающие i -ый интервал, $N_1=1, 2, \dots, N-i+1$;

K – общее количество интервалов, $K = t_\phi \cdot 10^3 / \Delta R$;

$F(i\Delta R)$ – значение функции распределения разнорысотности (Вейбулла);

A_{y_j} – величина смещения оси круга в радиальном направлении, мкм;

$b(y)$ – ширина единичного среза, мкм, толщина которого y мкм;

$k(y)$ – коэффициенты, учитывающие условия контактирования.

Значение функции распределения разнорысотности $F(i\Delta R)$ определяется следующим образом:

$$F(i\Delta R) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\left(\frac{\Delta R}{\beta}\right)^\alpha\right), & \text{если } i = 1; \\ \exp\left(-\left(\frac{(i-1)\Delta R}{\beta}\right)^\alpha\right) - \exp\left(-\left(\frac{i\Delta R}{\beta}\right)^\alpha\right), & \text{если } i \geq 2. \end{cases}$$

Величина смещения оси круга в радиальном направлении определяется по формуле

$$A_{y_j} = A \sin \frac{2\pi f R_k}{1000 v_k} \varepsilon_j,$$

где ε_j – центральный угол, соответствующий участку РПК, обрабатываемому j -ый интервал:

$$\varepsilon_j = \frac{(\sqrt{j} - \sqrt{j-1})\sqrt{2R_k \Delta R \cdot 10^{-3}}}{R_k} \cdot \frac{60v_k}{v_\partial}.$$

Ширина среза $b(y)$ определяется в зависимости от величины заглубления зерна:

$$b(y) = \begin{cases} 2\sqrt{2\rho y - y^2}, & \text{если } y \leq \rho \left(1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}\right); \\ 2 \left(\rho \frac{1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} + y \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \right), & \text{если } y > \rho \left(1 - \sin \frac{\varepsilon}{2}\right). \end{cases}$$

Коэффициенты $k(y)$, учитывающие условия контактирования, определяются следующим образом:

$$k(y) = \begin{cases} 0, & \text{если } y \leq 0; \\ 1, & \text{если } y > 0. \end{cases}$$

При расчете режимов обработки, обеспечивающие максимальную высоту неровностей профиля R_{max} , в случае отсутствия радиальных колебаний шлифовального круга перекрытие срезов должно произойти на интервале

$$N = \frac{R_{max}}{\Delta R}.$$

Соотношение (1) примет вид

$$\frac{60v_k}{v_\partial s_{3n}^2} \sqrt{2R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} \cdot 2 \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^{N-i+1} (\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2}) b(N_1 \cdot \Delta R) \geq 10^3,$$

откуда

$$\frac{60v_k}{v_\partial} \geq \frac{s_{3n}^2 \cdot 10^3}{2\sqrt{2R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} \cdot \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^{N-i+1} (\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2}) b(N_1 \cdot \Delta R)},$$

где i – номера исследуемых интервалов, $i=1, 2, \dots, N$;

N_1 – участки поверхности круга, обрабатывающие i -ый интервал, $N_1=1, 2, \dots, N-i+1$.

Отношение $60v_k/v_\partial$, найденное по формуле

$$\frac{60v_k}{v_\partial} = \frac{s_{3n}^2 \cdot 10^3}{2\sqrt{2R_k \cdot \Delta R \cdot 10^{-3}} \cdot \sum_{i=1}^N F(i\Delta R) \sum_{N_1=1}^{N-i+1} (\sqrt{N_1+i-1} - \sqrt{N_1+i-2}) b(N_1 \cdot \Delta R)},$$

является минимально допустимым и обеспечивает требуемую максимальную высоту неровностей профиля R_{max} .

Преобразовать неравенство (1) для решения обратной задачи в случае наличия радиальных колебаний шлифовального круга не представляется возможным, так как отношение $60v_k/v_\partial$ входит в (1) в неявной форме. Поэтому расчет режимов по заданным параметрам шероховатости выполняется по неравенству (1) методом последовательного перебора вари-

антов значений скорости детали v_d до момента, пока расчетное значение параметра шероховатости не превысит наперед заданного. Найденное отношение $60v_k/v_d$ является минимально допустимым и обеспечивает требуемую максимальную высоту неровностей профиля R_{max} (или высоту микронеровностей R_z).

Для повышения точности расчета необходимо уменьшить величину интервала ΔR , что приводит к увеличению числа интервалов и усложнению вычислений. Поэтому, для определения режимов алмазного шлифования, обеспечивающих заданные параметры шероховатости обработанной поверхности, нами составлена программа расчета на ПЭВМ.

Программа разработана на языке С++ и позволяет рассчитать скорость детали при различных режимах алмазного шлифования по заданной максимальной высоте неровностей профиля R_{max} (или высоту микронеровностей R_z). При запуске на экране появляется меню, которое позволяет выбрать один из кругов 1А1 250×76×15×5 следующих характеристик АС6 100/80-4-М2-01, АС6 160/125-4-М2-01, АС6 250/200-4-М2-01; максимальную высоту неровностей профиля R_{max} или высоту микронеровностей R_z (одно из 9-ти значений) и величину интервала расчета (одно из 4-х значений). После введения этих данных можно выполнить расчет скорости детали. Имеется возможность получить таблицу скоростей детали в зависимости от заданных параметров для кругов указанных характеристик при всех возможных значениях высоты неровностей и величины интервала расчета.

Программа состоит из процедур и функций, часть которых отвечает за интерфейс, а остальные – расчетные – могут использоваться в других программах.

Интерфейсными являются процедуры, позволяющие выбрать тип круга, максимальную высоту неровностей профиля R_{max} (или высоту микронеровностей R_z) и интервал расчета ΔR . Выбор реализован в виде меню, а выбранные параметры заносятся в глобальные переменные, используемые для расчета скорости детали.

К расчетным можно отнести функции расчета значений функции распределения разновысотности зерен $F(i\Delta R)$ и ширины среза $b(y)$.

Программа работает на любых IBM-совместимых компьютерах при наличии минимальных аппаратных средств. Таблица значений скорости детали в зависимости от заданных значений максимальной высоты неровностей профиля выводится в текстовый файл, который можно просматривать с помощью любого текстового редактора.

Проведенные нами исследования рельефа алмазных кругов [4] позволили установить, что рельеф, сформированный после электроэрозионной правки, отличается хорошим выступанием зерен из связки и повышенными режущими свойствами, что позволяет увеличить скорость детали, а, следовательно, и производительность, и принять за ограничивающую скорость детали скорость, обеспечивающую заданные параметры шероховатости при известных параметрах радиальных колебаний (табл. 1).

Параметры радиальных колебаний круга в процессе шлифования, измерялись при помощи анализатора спектра вибрации модели 795М, и для данных условий обработки составили: $f = 37$ Гц; $A = 0,9$ мкм.

Таблица 1

Продольная скорость стола (скорость детали) шлифовального станка модели 3Д711АФ11, обеспечивающая заданные параметры шероховатости
 $v_k = 30$ м/с; $f = 37$ Гц; $A = 0,9$ мкм

Заданные параметры шероховатости		Продольная скорость стола, м/мин	
R_z , мкм	R_a , мкм	$\Delta R=1$ мкм	$\Delta R=0,5$ мкм
1	2	3	4
Шлифовальный круг АС6 100/80 – 4 – М2 - 01			
8,0	2,0	30,0	30,0
6,3	1,6	22,8	24,3
5,0	1,0	14,5	15,3

1	2	3	4
4,0	0,8	6,7	8,3
3,2	0,63	6,0	3,9
2,5	0,50	3,7	2,8
2,0	0,40	2,4	2,6
Шлифовальный круг АС6 160/125 – 4 – М2 - 01			
10,0	2,5	25,0	22,5
8,0	2	15,5	14,0
6,3	1,6	7,2	8,1
5,0	1,0	4,6	3,7
4,0	0,8	2,6	2,0
3,2	0,63	2,0	2,1
2,5	0,50	1,0	1,1

Корректность методики расчета продольной скорости стола, обеспечивающей требуемые параметры шероховатости обработанной поверхности, подтверждена экспериментом.

Таким образом, предложенная нами методика расчета комплекса параметров шероховатости шлифованной поверхности, учитывающая влияние на них радиальных колебаний РПК, обусловленных колебаниями оси вращения шпинделя со шлифовальным кругом, позволяет определять режимы обработки, обеспечивающие заданные параметры шероховатости. Рекомендации по режимам обработки труднообрабатываемых ванадийсодержащих сталей, разработанные нами, внедрены в производство.

Бibliографический список

1. Физико-механическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения. В 10 т. Т. 6. Качество обработки деталей машин / Под общ. ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2003. – 716 с.
2. Азарова Н.В. Расчет параметров шероховатости шлифованной поверхности с учетом радиальных колебаний рабочей поверхности круга / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 3. – С. 52-61.
3. Шероховатость поверхности. Термины и определения: ГОСТ 25142-82 (СТ СЭВ 1156-78). – [Введен с 1983-01-01] – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.
4. Азарова Н.В. Влияние способа правки алмазного круга на характеристики его рабочей поверхности / Н.В. Азарова, П.Г. Матюха // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2007. – Вип. 4. – С. 16-20.

Азарова Н.В. Розрахунок режимів алмазного шліфування, які забезпечують задані параметри шорсткості обробленої поверхні.

Запропоновано програму для визначення на ПЕОМ режимів плоского алмазного шліфування, які забезпечують задані параметри шорсткості обробленої поверхні, з урахуванням радіальних коливань шліфувального круга.

Ключові слова: алмазне шліфування, шорсткість поверхні, режими обробки.

Azarova N.V. The calculation of the mechanical conditions, providing required parameter of roughness of the grinded surface.

The program for the determination by PC the mechanical conditions of the flat infeed grinding, providing required parameter of roughness of the machined surface, taking into account the radial vibrations of grinding wheel is produced.

Keywords: diamond grinding, roughness of surface, mechanical conditions.