

УДК 621.922

**Т. П. Г. Нгуен**

Ханойский университет науки и технологии, г. Ханой, Вьетнам  
ntrpgiang@gmail.com

**Качество обрабатываемой поверхности  
деталей при черновой обработке  
материалов различной твердости  
с помощью сегментированных  
шлифовальных кругов, произведенных  
во Вьетнаме**

*Разработаны сегментированные шлифовальные круги, предназначенные для улучшения шлифовальной способности абразива при прерывистой механической обработке. Сделана оценка режущей способности сегментированных шлифовальных кругов. Коэффициент сегментации  $\eta$  рабочей поверхности сегментированного шлифовального круга определен как отношение общей длины интервалов между сегментами к длине всей окружности круга. Для шлифования незакаленных и закаленных сталей, а также алюминиевых сплавов были использованы пять вариантов разработанных сегментированных шлифовальных кругов с  $\eta = 10,91, 16,37, 18,19, 20,01, 21,83$  % и один традиционный круг ( $\eta = 0$  %). Результаты исследования показали, что гладкая поверхность заготовки была получена при использовании сегментированных шлифовальных кругов с  $\eta = 18,19$  % при обработке незакаленных сталей и с  $\eta = 20,01$  % при обработке алюминиевого сплава.*

**Ключевые слова:** шлифование, прерывистая механическая обработка, сегментированный шлифовальный круг, шероховатость.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время промышленность использует множество новых материалов, различающихся по твердости, от твердых – термически обработанной стали, легированной стали, углеродистых сплавов или керамики, до мягких – алюминиевых, магниевых сплавов и т. д. Изделия из этих материалов нуждаются в тонкой окончательной механической обработке для достижения желаемой чистоты поверхности и точности размера. Шлифование используют как эффективный способ достижения точности обработки и качества поверхности [1, 2].

Улучшение процесса тонкой механической обработки может повысить как качество продукции, так и надежность системы обработки в целом. В этой ситуации условия механической обработки должны рассматриваться не только применительно к свойствам материала, также нельзя игнорировать воздействие абразивного инструмента на обрабатываемый материал в процессе шлифования. Кроме того, необходимо учитывать характеристику обрабатываемой поверхности материала до и после механической обработки [3–5]. В данной работе рассматривали процесс обработки алюминиевого сплава

А6061, незакаленной и закаленной стали С45 с использованием сегментированного шлифовального круга. Приведены характеристики качества поверхности, полученного при новом процессе обработки в сравнении с традиционным процессом обработки сплошным шлифовальным кругом. Также исследованы эффекты, зависящие от изменения параметров процесса.

### СЕГМЕНТИРОВАННЫЕ ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ

В экспериментах использовали традиционный шлифовальный круг и пять сегментированных шлифовальных кругов от одного производителя “Hai Duong” (рис. 1). Круги имели одинаковый диаметр, ширину, связующее вещество, условия изготовления, размер, плотность и жесткость зерна. У традиционного шлифовального круга была сплошная рабочая поверхность (коэффициент сегментации  $\eta = 0 \%$ ), а другие круги имели прорезы различной степени сегментации. В табл. 1 представлены общие параметры серийного шлифовального круга, в табл. 2 – параметры сегментированных шлифовальных кругов [6].

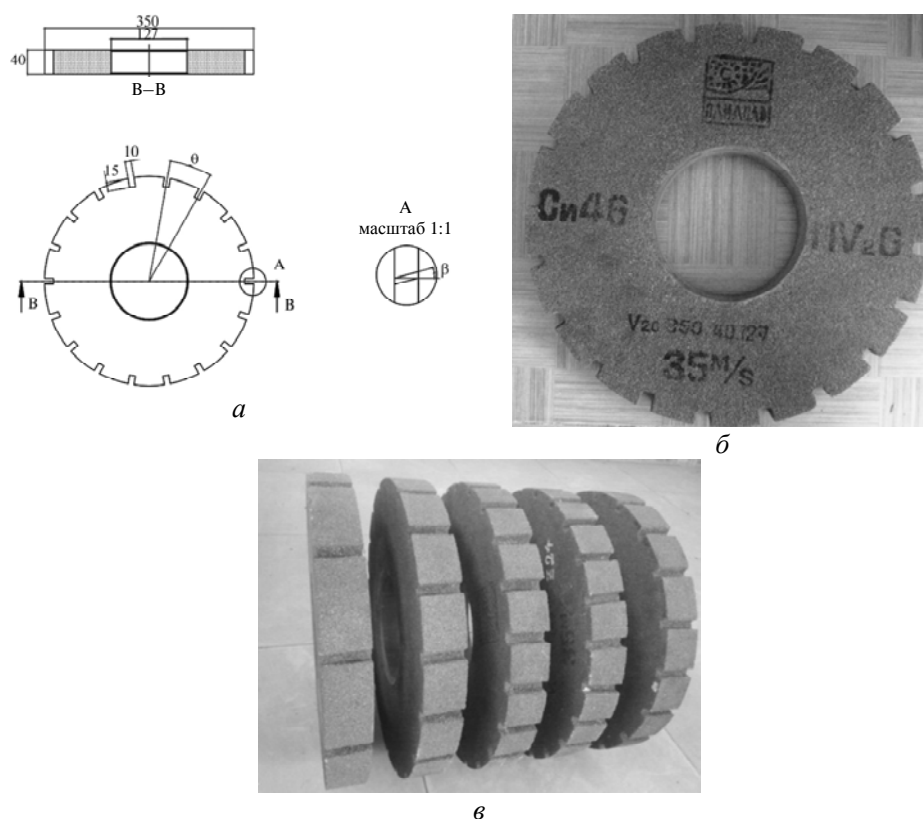


Рис. 1. Геометрические параметры сегментированного шлифовального круга с углом  $\beta$ , шириной прорези 10 мм и глубиной 5 мм (а), лицевая часть круга (б), пять сегментированных шлифовальных кругов с различным количеством пазов (в).

Процесс шлифования выполняли на плоских шлифовальных станках фирмы ОКАМАТО (Япония) с техническими характеристиками, приведенными в табл. 3. Фотоснимок круга на станке представлен на рис. 2.

**Таблица 1. Параметры шлифовального круга  
Сп46 MV2 350×40×127-35 м/с**

Параметр	Значение
Наружный диаметр, мм	350
Внутренний диаметр, мм	127
Ширина круга, мм	40
Скорость вращения, м/с	35
Абразивные частицы	Сп46 GV6 MV2
Связующее вещество	керамика

**Таблица 2. Параметры сегментированных шлифовальных кругов**

Количество прорезей Z	Угол между двумя соседними прорезями $\theta$ , град	Коэффициент сегментации $\eta$ , %
12	30	10,91
18	20	16,37
20	18	18,19
22	16,36	20,01
24	15	21,83

**Таблица 3. Технические характеристики шлифовального станка**

Параметр	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
Размер станка	4280	1850	2190
Размер поддона	2150	800	
Рабочее пространство	1200	520	350
Мощность главного двигателя шпинделя, кВт		11	

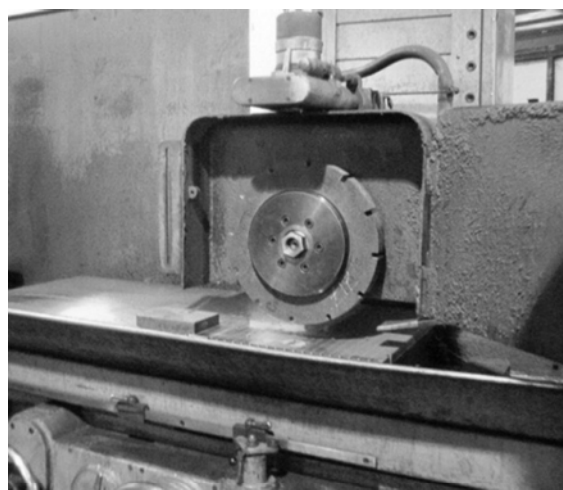


Рис. 2. Сегментированный шлифовальный круг на станке.

В эксперименте использовали заготовки обрабатываемых деталей из двух типов материалов: стали С45 закаленной с твердостью 42–43 HRC и незака-

ленной твердостью 82 *HB* и сплавов алюминия, произведенных компанией “Van Xuan Co”. Исследовали по пять образцов каждого материала. Обрабатываемые детали, используемые в эксперименте, представлены на рис. 3.

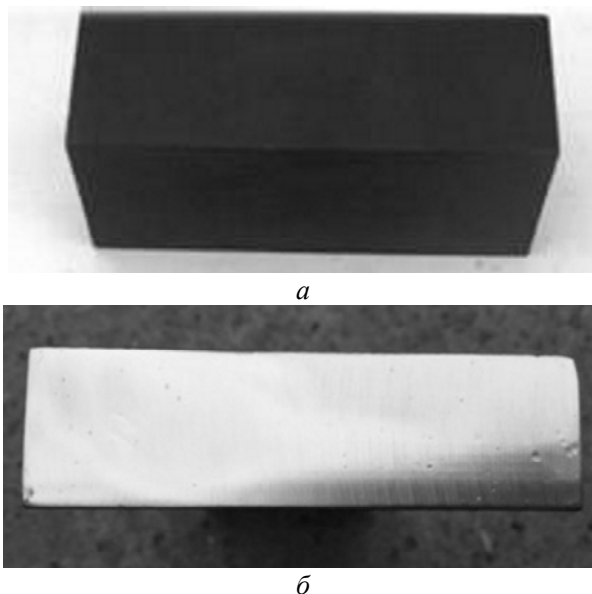


Рис. 3. Образцы из стали С45 (закаленной и незакаленной) размерами 100×35×40 мм (а) и из алюминиевого сплава А6061 (б).

Химический состав алюминиевого сплава А6061 представлен в табл. 4.

**Таблица 4. Химический состав алюминиевого сплава А6061**

Элемент	Cu	Fe	Si	Mg	Zn	Cr	Al
Содержание, % (по массе)	0,15–0,40	0,7	0,40–0,80	0,8	0,25	0,04–0,35	Остальное

Для всех экспериментов скорость шлифования  $v$  и скорость подачи  $f$  имеют следующие значения:  $v = 30$  м/с,  $f = 12$  м/мин, а глубина шлифования  $t = 0,015$ ,  $0,025$  и  $0,05$  мм. Каждый процесс механической обработки выполняли десятью двойными циклами. Шероховатость поверхности всех заготовок измеряли электронным кронциркулем Mitutoyo SJ-301 после десяти двойных циклов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При изменении глубины шлифования ( $0,015$ ,  $0,02$ ,  $0,025$  мм) и при скорости подачи  $f = 12$  м/мин процесс обработки алюминиевого сплава не соответствовал принятым нормам (рис. 4). Теоретически увеличение глубины шлифования приводит к ухудшению качества поверхности [4–6]. Однако при глубине шлифования  $t = 0,025$  мм качество поверхности было лучше, чем при  $t = 0,015$  мм при значениях  $Z = 18$ .

Не все сегментированные шлифовальные круги лучше, чем традиционные. Но при увеличении коэффициента сегментации шероховатость обработанной поверхности достигает пика при значениях  $\eta$  в пределах от 18,19 до

20,1 % (рис. 5). В этом диапазоне  $\eta$  шероховатость поверхности самая низкая даже по сравнению с традиционным шлифовальным кругом.

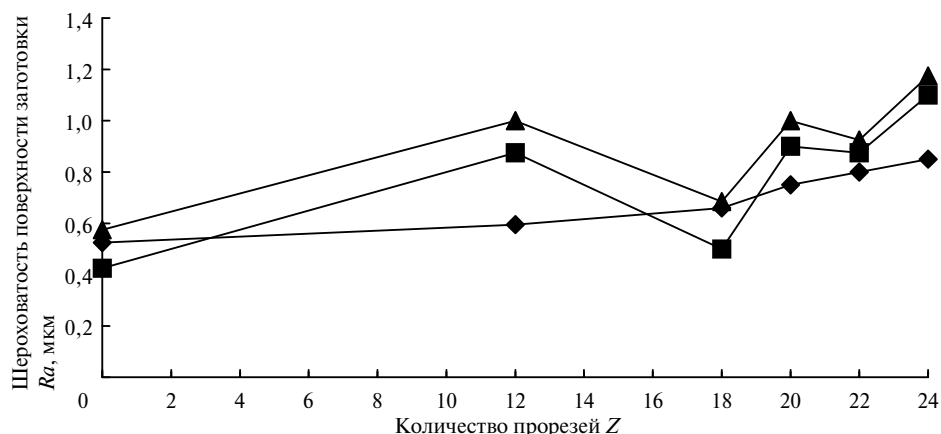


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  обрабатываемой детали из алюминиевого сплава А6061 от количества прорезей круга:  $t = 0,015$  (♦),  $0,025$  (■),  $0,05$  (▲) мм.

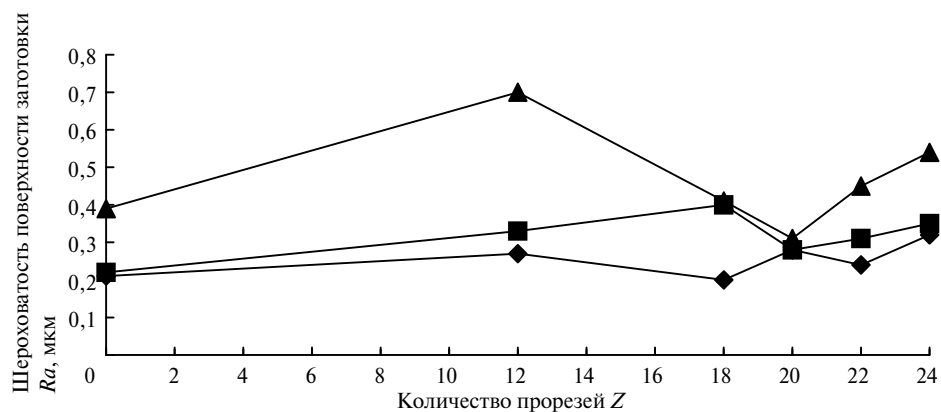


Рис. 5. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  обрабатываемой детали из закаленной стали С45 от количества прорезей круга:  $t = 0,015$  (♦),  $0,025$  (■),  $0,05$  (▲) мм.

С увеличением глубины шлифования в процессе обработки закаленной и незакаленной стали С45 качество поверхности самое высокое при  $Z = 20$  – при увеличении глубины шлифования оно все еще остается высоким (рис. 6). Это один из положительных результатов усовершенствования сегментированных шлифовальных кругов.

Для закаленных материалов в процессе шлифования также положительным результатом является более низкое остаточное внутреннее напряжение, снижение мощности шлифования, мелкие опилки. Для мягких материалов характерно скольжение, царапины, более высокий расход энергии, крупные опилки, поэтому при большой глубине шлифования и большой контактной длине качество поверхности низкое.

Шероховатость поверхности, полученная при механической обработке сегментированным кругом при  $Z = 18$  с коэффициентом сегментации  $\eta = 16,37$  %, показывает, что сегментация улучшает обработку, направляет абразивные вещества оптимальным способом, избегая той же самой траектории

частиц, дает более высокое качество обрабатываемой поверхности по сравнению с традиционным шлифовальным кругом при параметрах процесса  $t = 0,02$  мм,  $f = 12$  м/мин,  $v = 30$  м/с (рис. 7).

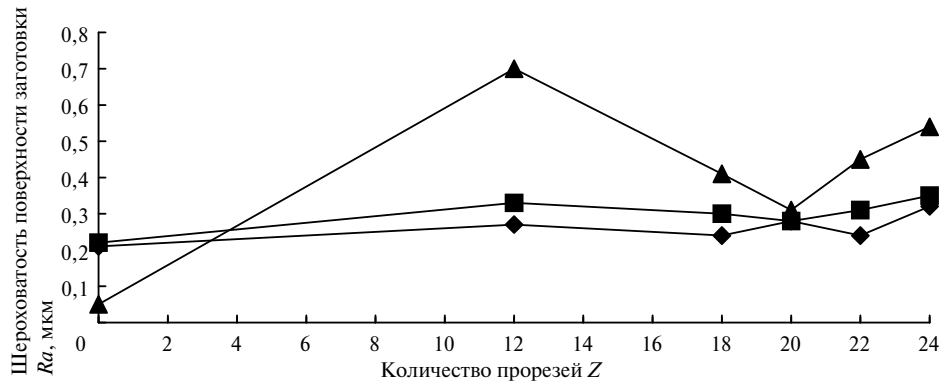


Рис. 6. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  обрабатываемой детали из закаленной стали С45 от количества прорезей круга:  $t = 0,015$  (♦),  $0,025$  (■),  $0,05$  (▲) мм.

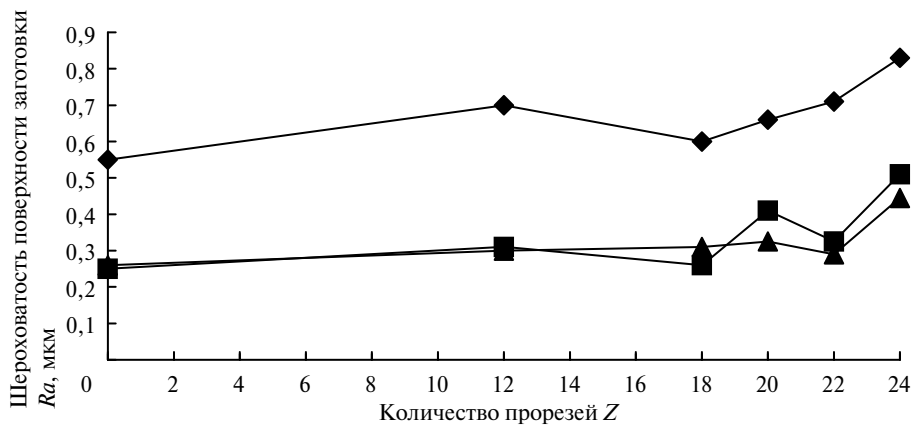


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности  $Ra$  обрабатываемой детали из алюминиевого сплава А6061 (♦), стали С45 незакаленной (■) и закаленной (▲) от количества прорезей круга:  $t = 0,02$  мм,  $f = 12$  м/мин,  $v = 30$  м/с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование процессов шлифования алюминиевого сплава А6061, незакаленной и закаленной стали С45 с использованием сегментированного шлифовального круга показали следующие результаты.

Сегментированные шлифовальные круги с коэффициентом сегментации  $\eta = 20,01$  и  $18,19$  % при механической обработке соответственно незакаленной стали и алюминиевого сплава А6061 дают более гладкую поверхность, чем традиционные шлифовальные круги.

Сегментированные шлифовальные круги с коэффициентом сегментации  $\eta = 16,37$  % показывают лучшие результаты по сравнению с традиционными шлифовальными кругами: при увеличении глубины шлифования с  $Z = 20$  качество поверхности все еще остается высоким для всех типов исследованных материалов.

При механической обработке закаленной стали С45 появляются опилки, которые совмещаются с сегментом на рабочей поверхности круга, что облегчает процесс обработки.

*Розроблено сегментовані шліфувальні круги, призначені для поліпшення шліфувальної здатності абразиву при переривчастій механічній обробці. Зроблено оцінку ріжучої здатності сегментованих шліфувальних кругів. Коефіцієнт сегментації  $\eta$  робочої поверхні сегментованого шліфувального круга визначено як відношення загальної довжини інтервалів між сегментами до довжини всієї окружності круга. Для шліфування незагартованих і загартованих сталей, а також алюмінієвих сплавів були використані п'ять варіантів розроблених сегментованих шліфувальних кругів з  $\eta = 10,91, 16,37, 18,19, 20,01, 21,83$  % і один традиційний круг ( $\eta = 0$  %). Результати дослідження показали, що гладка поверхня заготовки була отримана при використанні сегментованих шліфувальних кругів з  $\eta = 18,19$  % при обробці незагартованих сталей і з  $\eta = 20,01$  % при обробці алюмінієвого сплаву.*

**Ключові слова:** шліфування, переривчаста механічна обробка, сегментований шліфувальний круг, шорсткість.

*Segmented grinding wheels are developed, designed to improve the ability of the abrasive grinding with intermittent machining. The estimation of the cutting ability of the segmented grinding wheel. Segmentation coefficient  $\eta$  segmented grinding wheel working surface is defined as the ratio of the total length of the intervals between the segments to the length of the entire circumference of the wheel. five options developed segmented grinding wheels  $\eta = 10,91, 16,37, 18,19, 20,01, 21.83$  % and one traditional circles for grinding unhardened and hardened steels and aluminum alloys were used ( $\eta = 0$  %). The results showed that a smooth surface of the workpiece was obtained using segmented grinding wheels  $\eta = 18,19$  % unhardened steels during processing and  $\eta = 20,01$  % when processing aluminum alloy.*

**Keywords:** grinding, discontinuous machining, segmented grinding wheel roughness.

1. Agarwal S, Venkateswara Rao P. A new surface roughness prediction model for ceramic grinding // Proc. Inst. Mech. Eng. B.: J. Eng. Manuf. – 2005. – **219**, N 11. – P. 811–821.
2. Young H. T., Liao H. T., Huang H. Y. Surface integrity of silicon wafers in ultra precision machining // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2006. – **29**, N 3–4. – P. 372–378.
3. Marinescu I. D., Rowe W. B., Dimitrov B., Inasaki I. Tribology of abrasive machining processes. – NY, Norwich: William Andrew Publishing, 2004. – 698 p.
4. Tuan W. H., Kuo J. C. Effects of grinding parameters on the reliability of alumina // Mater. Chem. Phys. – 1998. – **52**. – P. 41–45.
5. Mohammadjafar Hadad, Mostafa Hadi. An investigation on surface grinding of hardened stainless steel S34700 and aluminum alloy AA6061 using minimum quantity of lubrication (MQL) technique // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2013. – **68**. – P. 2145–2158.
6. Nguyen Thi Phuong Giang; Nguyen Tien Dong. Reducing grinding force in machining ceramics using segmented grinding wheel // J. Sci. Technol., Technical Universities. – 2011. – N 81. – P. 86–90.

Поступила 08.04.15