

УДК 621.922.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОГО СФЕРОКОРУНДА В КАЧЕСТВЕ АБРАЗИВА В ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГАХ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ

Коротков А.Н., Коротков В.А.

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева»,
Кемерово, e-mail: korotkov.a.n.@mail.ru

В представленной работе описаны исследования по оценке и сравнению эксплуатационных показателей опытных шлифовальных кругов из различных абразивов при плоском шлифовании стальных заготовок. В частности, испытывались опытные круги, изготовленные из полого сферинокорунда марки ЭС63Н в качестве абразивных зерен. Данные инструменты сравнивались с кругами, изготовленными из белого электрокорунда марки 24А50Н и 24А20Н. Опытные шлифовальные круги проходили прочностные испытания на разрывном стенде, с возможностью плавного регулирования частоты вращения шпинделя, установленного в закрываемой бронеканере. Шлифовальные круги испытывались на скорости, в 1,5 раза превышающей рабочую, с выдержкой 3 мин. Далее опытными кругами шлифовали заготовки из сталей ШХ15 и 12Х18Н10Т в условиях плоского шлифования на одинаковых режимах резания, на станке 3Г71. В процессе шлифования контролировались и сравнивались следующие параметры: коэффициент шлифования опытных кругов (Kg); режущая способность кругов (Qm); разница температур нагрева заготовок (ΔT); величины составляющих силы резания P_y и P_z и сила резания R; шероховатость поверхностей R_a и R_z обработанных заготовок. Испытания показали, что применение полых сферинокорундовых зерен в шлифовальных кругах позволяет повысить режущую способность этих инструментов и снизить температуру нагрева заготовок (при более высоком износе таких инструментов и более высоких силовых нагрузках). Круги из таких зерен целесообразно использовать для чистового шлифования с повышенной производительностью, а также для операций, где важно соблюдать низкую температуру шлифования (например, для бесприжеговой заточки инструментов).

Ключевые слова: сферинокорунд, белый электрокорунд, шлифовальные зерна, опытные шлифовальные круги, коэффициент шлифования, режущая способность, температура нагрева заготовок, силы резания, шероховатость обработанных поверхностей

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE APPLICATION OF HOLLOW SPHEROCORUNDUM AS ABRASIVE IN GRINDING WHEELS FOR FLAT GRINDING

Korotkov A.N., Korotkov V.A.

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, e-mail: korotkov.a.n.@mail.ru

The present work describes studies on the evaluation and comparison of performance indicators of experimental grinding wheels made of various abrasives in flat grinding of steel billets. In particular, we tested experimental wheels made of hollow spherocorundum grade ES63N as abrasive grains. These tools were compared with wheels made of white electrocorundum grades 24A50N and 24A20N. Experienced grinding wheels were strength tested on a tensile stand, with the possibility of smooth control of the spindle speed, installed in a closed armored chamber. Grinding wheels were tested at a speed 1.5 times higher than the working speed, with a holding time of 3 minutes. Further, blanks from steels ShKh15 and 12Kh18N10T were ground with experimental wheels under conditions of flat grinding at the same cutting conditions, on a 3G71 machine. During the grinding process, the following parameters were controlled and compared: the grinding coefficient of the experimental wheels (Kg); cutting ability of circles (Qm); temperature difference of billet heating (ΔT); the values of the components of the cutting force P_y and P_z and the cutting force R; surface roughness R_a and R_z of machined workpieces. Tests have shown that the use of hollow spherocorundum grains in grinding wheels makes it possible to increase the cutting ability of these tools and reduce the heating temperature of workpieces (with higher wear of such tools and higher power loads). Wheels made of such grains should be used for fine grinding with increased productivity, as well as for operations where it is important to maintain a low grinding temperature (for example, for burn-free sharpening of tools).

Keywords: spherocorundum, white electrocorundum, grinding grains, experimental grinding wheels, grinding coefficient, cutting ability, billet heating temperature, cutting forces, roughness of machined surfaces

При шлифовании сталей и сплавов актуальными являются вопросы повышения режущей способности шлифовальных инструментов и снижения температур резания [1]. Улучшение этих показателей может быть достигнуто в том числе за счёт повышения пористости инструментов и оптимизации их структуры [2]. При этом в качестве пор могут использоваться такие компонен-

ты, как стеклянные микросферы, фруктовые косточки, различные минеральные наполнители и полые (пустотелые) сферы из белого электрокорунда (полые сферинокорунды) [3]. Последние, ввиду аналогичного химического состава с абразивными зёрнами электрокорундов и толщиной стенок сфер до нескольких десятком микрометров, также обладают режущими свой-

ствами. Так, исследования зерен полого сферокорунда марки ЭС63Н (размер зерен во фракции 630 мкм) под микроскопом показывают, что толщина их стенок колеблется в диапазоне 45–65 мкм [4]. Эта величина сопоставима с размерами абразива мелких зернистостей. Таким образом, при применении сферокорундов может быть достигнут не только эффект по повышению режущей способности инструментов, но и по снижению температуры нагрева и шероховатости обрабатываемых поверхностей, что требует практической проверки [5].

В представленной работе принято решение изготавливать и испытывать опытные шлифовальные круги из зерен полого сферокорунда марки ЭС63Н (630 мкм), в сравнении с кругами из зерен белого электрокорунда марки 24А50Н (500 мкм) и белого электрокорунда марки 24А20Н (200 мкм). Химический состав абразивов во всех случаях одинаков.

При испытаниях ставилась задача сравнить эффективность применения кругов из обычных зерен и зерен полого сферокорунда с близкими зернистостями (630 и 500 мкм), а также кругов из зерен более мелких зернистостей (размер зерен 200 мкм).

Материалы и методы исследования

Для проведения испытаний решён вопрос о выборе полимерного связующего, близкого по свойствам к бакелитовой связке и не требующего термообработки. В качестве такого материала применялась эпоксидная смола [6], и на её основе изготавливались шлифовальные круги с размерами 160x15x32 мм, со следующей объёмной рецептурой: абразив – 61,5%, смола – 27,7%, криолит – 2,8%, пирит – 7,98%. Круги армировались двумя стеклосетками [7].

Изготавливались и испытывались следующие разновидности опытных шлифовальных кругов: с рецептурой, где в качестве абразива использовался сферокорунд марки ЭС зернистость 63 (630 мкм), ТУ 2-036-1020-88; с рецептурой, где в качестве абразива использовался белый электрокорунд марки 24А зернистость 50 (500 мкм); с рецептурой, где в качестве абразива использовался белый электрокорунд марки 24А зернистость 20 (200 мкм).

Химический состав полого сферокорунда (ЭС63Н) соответствовал белому электрокорунду марки 24А. Для проведения прочностных испытаний изготовленных опытных кругов использовался стенд с возможностью плавного регулирования частоты вращения шпинделя, расположенного в закрываемой бронеканере. Шлифовальные круги испытывались на скорости,

в 1,5 раза превышающей рабочую, с выдержкой 3 мин [8].

Для оценки работоспособности шлифовальных кругов использовался плоскошлифовальный станок модели ЗГ71 с двухкомпонентным динамометром [9].

Составляющая силы резания P_u контролировалась при помощи электронных весов, закрепленных на столе станка, а сила резания P_z контролировалась с помощью ваттметра, встроенного в цепь двигателя станка, через отношение эффективной мощности при шлифовании к рабочей скорости круга. Показания весов и ваттметра контролировались оператором станка и синхронно записывались видеокамерой.

При проведении испытаний оценивались [10]:

- коэффициент шлифования кругов (K_g) как отношение массы срезанного материала к массе изношенного инструмента;
- режущая способность кругов (Q_m), как масса металла, снимаемого за один цикл обработки заготовки;
- величины радиальной (P_u) и тангенциальной (P_z) составляющих силы резания, а также сила резания R как результирующая сумма составляющих сил P_u и P_z ;
- разность нагрева заготовок до и после шлифования (ΔT);
- шероховатость обработанных поверхностей R_a и R_z .

Один цикл обработки заготовки состоял в восьмикратном шлифовании её поверхности при глубине резания 0,01 мм с последующим восьмикратным выхаживанием. Поперечная подача составляла 1,2 мм/ход, продольная подача – 8,5 мм/мин; материал заготовок – сталь 12Х18Н10Т (образцы размером 100x33x5 мм) и сталь ШХ15 (образцы размером 100x20x5 мм) в состоянии поставки.

Для оценки коэффициента шлифования кругов измерялась потеря их массы и массы заготовок до и после испытаний с помощью электронных весов (с точностью до 0,01 г).

Для контроля температуры заготовок применялся оптический пирометр с пределом измерения 950 °С и ценой деления 0,1 °С. Температура измерялась после последовательного восьмикратного заглабления круга на глубину шлифования (0,01 мм) в поверхность заготовок.

Шероховатость обработанных поверхностей оценивалась на профилографе-профилометре модели «Talysurf 5-120». При этом шероховатость на каждой заготовке измерялась трижды на различных участках. Направление измерения было перпендикулярно направлению продольной подачи шлифовальных кругов [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки эксплуатационных показателей опытных кругов при шлифовании заготовок из стали 12Х18Н10Т представлены на рис. 1.

Оценка режущей способности опытных инструментов по стали 12Х18Н10Т свидетельствует о повышении этого показателя

у кругов из сфериокорунда на 9–15% по сравнению с обычными инструментами. Более значительно это повышение наблюдается (как и следовало ожидать) по сравнению с мелкозернистым инструментом. При обработке заготовок из стали ШХ15 видна аналогичная качественная картина – круги из сфериокорунда превосходят на 15–20% обычные инструменты по параметру режущей способности.

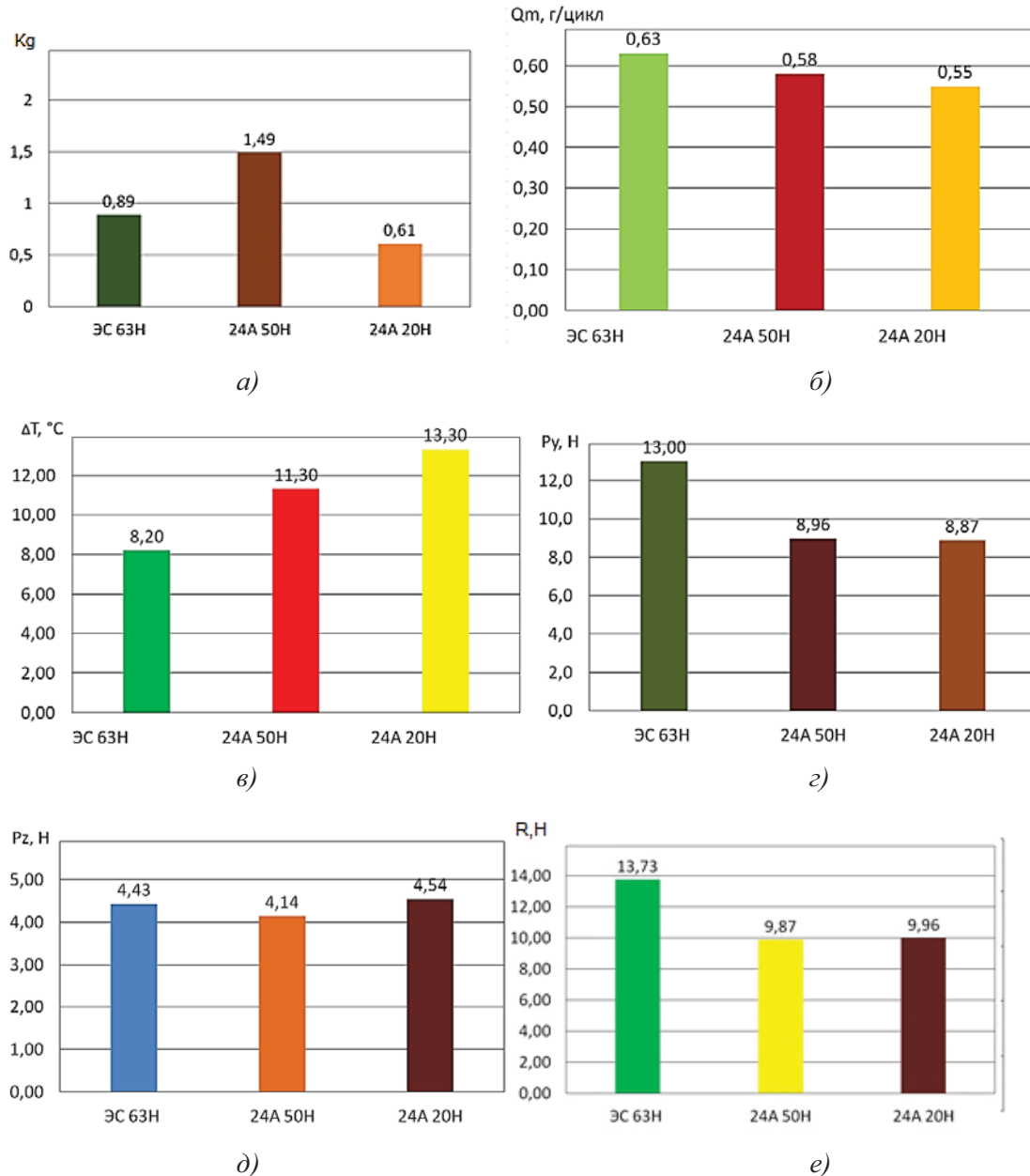


Рис. 1. Работоспособность опытных кругов из различных абразивов при шлифовании стали 12Х18Н10Т:
а) коэффициент шлифования (Kg); б) режущая способность (Qt);
в) разница температур нагрева заготовок (ΔT); г) составляющая силы резания Py;
д) составляющая силы резания Pz; е) сила резания R

Установлено, что при обработке заготовок из стали 12X18H10T кругами из сфорокорунда ЭС63Н, электрокорунда 24А50Н и электрокорунда 24А20Н, коэффициент шлифования опытных инструментов составил 0,89; 1,49 и 0,61 соответственно. Таким образом, износ кругов из полого сфорокорунда на 41% выше, чем у инструментов из белого электрокорунда 24А с близкой зернистостью (50Н), но примерно в 1,5 раза (на 45%) меньше, чем у мелкозернистых кругов зернистостью 20Н.

Аналогичный по характеру результат получен при обработке заготовок из стали ШХ15.

Следует также отметить существенную (примерно трехкратную) разницу режущих способностей инструментов при обработке разных марок сталей.

Оценка температуры нагрева заготовок (из стали 12X18H10T и стали ШХ15) при шлифовании опытными кругами показывает, что при использовании инструментов из полого сфорокорунда выделяется меньшее количества тепла (на 28–31% и 39–47% соответственно).

Сравнение результатов по разным сталям показывает, что обработка нержавеющей стали осуществляется со значительно большими выделениями тепла (приблизительно в 3,5–4 раза).

При шлифовании кругами из сфорокорунда возрастают силовые нагрузки. Так, составляющая силы резания R_p возрастает на 24–72%, что отражается на повышенном износе инструмента из сфорокорунда по сравнению с кругами из зерен близкой зернистости. При этом составляющая силы резания R_z находится приблизительно на одном уровне при шлифовании заготовок из одной марки стали. Несколько большая

разница фиксируется при обработке заготовок из стали ШХ15.

Результаты оценки шероховатости заготовок из стали 12X18H10T после шлифования опытными кругами представлены на рис. 2.

Аналогичный по характеру результат получен при обработке заготовок из стали ШХ15.

Таким образом, круги из полого сфорокорунда обеспечивают при плоском шлифовании различных марок сталей меньшую на 15–21% шероховатость R_a по сравнению с инструментами из обычного белого электрокорунда с близкой зернистостью и несколько уступают мелкозернистым кругам из белого электрокорунда (на 7–9%), размер зерен которых в 3 раза меньше. По параметру R_z наблюдается аналогичная качественная картина. Относительная разница показателей здесь составляет 8–14% и 9,7–11% соответственно.

Установлено, что при обработке заготовок из стали 12X18H10T опытными кругами снижается шероховатость деталей по параметру R_a и R_z .

Полученные результаты можно объяснить тем, что толщина стенок сфер (после их разрушения), как было выявлено ранее, составляет 45–65 мкм, что сближает их по геометрии изнашиваемых кромок с геометрией мелкозернистых зерен белого электрокорунда. Поэтому шероховатость R_a и R_z после обработки кругами из полого сфорокорунда близка к показателям обработки мелкозернистыми кругами. Это означает, что такие круги можно использовать вместо мелкозернистых инструментов при сохранении высокой производительности обработки.

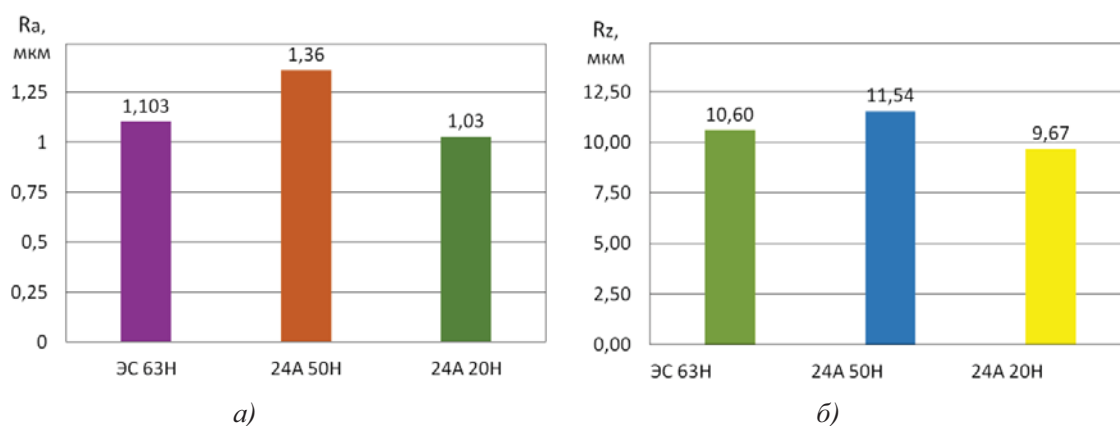


Рис. 2. Результаты оценки шероховатости заготовок из стали 12X18H10T, обработанных опытными шлифовальными кругами: а) по параметру R_a ; б) по параметру R_z

В целом круги из полого сферокорунда по сравнению с инструментами из обычных зерен обладают явным преимуществом по снижению шероховатости обрабатываемых поверхностей, уменьшению температуры нагрева заготовок и повышению производительности обработки.

Заключение

В результате проведенных исследований по изготовлению и испытанию опытных шлифовальных кругов получены следующие основные результаты:

– режущая способность кругов из полого сферокорунда ЭС63 на 9–15% выше, чем у инструментов из белого электрокорунда с близким размером зерен (24А50Н), и на 15–20% выше, чем у мелкозернистых кругов из белого электрокорунда 24А20Н;

– прирост температуры нагрева заготовок при шлифовании кругами из полого сферокорунда на 28–31% и на 39–47% меньше по сравнению с кругами из абразива 24А50Н и 24А20Н соответственно;

– шлифовальные круги из полого сферокорунда обеспечивают меньшую на 15–21% шероховатость Ra по сравнению с инструментами из белого электрокорунда с близкой зернистостью (24А50Н) и уступают мелкозернистым кругам (из 24А20Н) на 7–9%; аналогичный эффект наблюдается по параметру Rz;

– более производительная работа кругов из сферокорунда сопровождается более высокими силовыми нагрузками при шлифовании (возрастает сила резания и ее составляющие) и более интенсивным износом инструмента.

Таким образом, полученные результаты позволяют констатировать, что шлифовальные круги из полого сферокорунда целесо-

образно применять на операциях чистового окончательного шлифования с повышенной производительностью (съемом металла), а также использовать для тех операций, где важно соблюдать пониженную температуру шлифования (например, для бесприжеговой заточки инструментов).

Список литературы

1. Мрочек Ж.А., Киселев М.Г., Кожуро Л.М. Процессы шлифования в машиностроении. Минск – Москва: Новое знание – ИНФРА-М, 2014. 358 с.
2. Никифоров И.П. Современные тенденции шлифования и абразивной обработки: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 558 с.
3. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. 688 с., ил.
4. Besugen A., Verkerk J. Untersuchungen der Schleifkorngemetrie mit dem Rasterelektronenmikroskop. Fertigung, Bd. 5. 1971. S. 1–8.
5. Братан С.М., Владецкая Е.А., Владецкий Д.О., Харченко А.О. Повышение качества деталей при шлифовании в условиях плавучих мастерских: монография. М.: ИНФРА-М, 2018. 154 с.
6. Коротков В.А., Мельников В.В. Изготовление и результаты испытаний экспериментальных кругов с применением в качестве связки эпоксидной смолы // Научно-технический прогресс: Актуальные и перспективные направления будущего: сборник VI международной научно-практической конференции. Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. Т. 2. С. 117–120.
7. Зубарев Ю.М., Юрьев В.Г. Абразивные инструменты. Разработка операций шлифования: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 360 с.
8. Макаров В.Ф. Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: учебное пособие. СПб.: Лань, 2013. 320 с.
9. Korotkov A., Korotkov V. Increase of grinding wheel durability. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 709 (2020) 022020 IOP Publishing: DOI:10.1088/1757-899X/709/2/022020.
10. Коротков В.А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов: монография. М.: Машиностроение, 2009. 178 с.
11. Носенко В.А., Носенко С.В. Технология шлифования металлов: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2020. 616 с.