

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING

УДК 621.922.3

Коротков Виталий Александрович, канд. техн. наук, доцент, **Баштанов Вячеслав Геннадьевич**, старший преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: korotkov-va@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО В ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГАХ

***Аннотация:** Исследована разрывная прочность шлифовальных кругов прямого профиля, в которых в качестве связующего использован цемент. Установлено, что разрывная скорость таких кругов составляет 42 м/с, что позволяет безопасно эксплуатировать их при рабочих скоростях до 20 м/с. Показано, что рецептура круга с цементом в качестве связующего и процентным соотношением зерен, связки и наполнителей, аналогичным рецептуре кругов на бакелитовой связке, не является оптимальной как с точки зрения прочности удержания зерен на рабочей поверхности инструмента, так и с позиции разрывной прочности кругов. Полученные результаты говорят о том, что требуется проведение дальнейших экспериментов по подбору рациональной рецептуры кругов на цементной связке и ее приближение по процентному содержанию компонентов к бетонам марок М400 и М600.*

***Ключевые слова:** Шлифование, шлифовальные круги, прочность шлифовальных кругов, рецептура кругов, цементная связка, проведение испытаний.*

***Информация о статье:** принята 03 декабря 2020 г.
DOI: 10.26730/1816-4528-2021-1-3-8*

Введение

Шлифовальные круги – это композитные инструменты, состоящие из абразивных зерен, связующего и наполнителей. Различные по свойствам наполнители могут вводиться при изготовлении инструментов с целью образования пор, увеличения их прочности и улучшения отвода тепла. В ряде конструкций шлифовальных кругов в их структуре присутствуют упрочняющие элементы (кольца, сетки и др.) [1-3].

Связующие в шлифовальных инструментах могут быть неорганического происхождения (керамические, металлические, магниевые и силикатные связки) либо органического (бакелитовые, вулканические, глифталиевые и эпоксидные связки). Каждый тип связующего имеет конкретную рациональную область применения. Так, например, шлифовальные инструменты на керамических связках обладают высокой тепло- и кромкостойкостью и применяются на чистовых операциях круглого и плоского шлифования, а также для заточки лезвийных инструментов. Недостатками таких инструментов являются низкая прочность на изгиб и удар, что ограничивает их применение для операций с ударными нагруз-

ками, вибрациями, большими глубинами и подачами инструментов. Инструменты на бакелитовых, а также иных органических связках обладают большей прочностью на растяжение и изгиб. Однако стойкость инструментов на органических связках обычно в 6-10 и более раз ниже, чем у инструментов на керамических связках [4-7].

Металлические связки применяются для изготовления шлифовальных инструментов из сверхтвердых материалов (алмазов и кубического нитрида бора), которые, в свою очередь, в основном используются для обработки неметаллов [8].

Независимо от конкретного типа связующего процесс изготовления шлифовальных инструментов, как правило, включает смешивание абразивных зерен со связующим и наполнителями, прессование и термообработку. При этом наиболее энергозатратным является процесс термообработки. Так, при изготовлении шлифовальных инструментов на керамических связках процесс термообработки крупных инструментов может достигать нескольких суток, а максимальные температуры достигают 1200°C и более. Термообработка шлифовальных кругов на бакелитовых связках обычно имеет длительность не менее 24

часов и ее максимальные температуры достигают 190-220°C. Некоторые типы связующих не требуют термообработки, т.е. их отверждение происходит естественным образом путем сушки в течение нескольких суток. Это касается, например, эпоксидных смол, силикатных и магнезиальных связок [1].

Эпоксидные смолы твердеют в результате их смешивания со специальным реагентом – отвердителем. Инструменты на эпоксидных связках близки по эксплуатационным показателям к инструментам на бакелите (фенолформальдегидной смоле), отличаясь от последних примерно в 1,5 раза меньшей разрывной прочностью и максимальной рабочей скоростью [9], а также пониженной стойкостью, что ограничивает область их применения исключительно чистовыми операциями с минимальными припусками и режимами обработки. Так, например, на эпоксидной связке изготавливаются шлифовальные шеверы [1].

Силикатная связка, основой которой является жидкое стекло, существенно уступает керамической связке по прочности и способности удерживать зерна на рабочей поверхности инструментов. Максимальные рабочие скорости шлифовальных кругов на керамических связках находятся в диапазоне до 50-80 м/с, а рабочие скорости кругов на силикатной связке не превышают 30 м/с. При этом наблюдается интенсивный износ инструментов, что, однако, имеет и положительный эффект – низкую температуру в зоне резания при шлифовании. Поэтому такие инструменты применяются для шлифования тонкопрофильных термообработанных лезвий [1, 10].

Магнезиальная связка представляет собой магнезиальный цемент, основными компонентами которого являются окись магния и хлористый магний. Отверждение этой связки происходит при естественных условиях без термообработки в результате взаимодействия с водой. Магнезиальная связка неустойчива к воздействию воды и высокой влажности, обладает невысокими прочностью и стойкостью. Шлифовальные круги на ее основе применяются при максимальных рабочих скоростях не выше 20-25 м/с, интенсивно изнашиваются, незначительно нагревают обрабатываемые изделия и используются для заточки простейших лезвийных инструментов [1, 11].

Положительный опыт применения самотвердеющих связующих свидетельствует о возможности использования для изготовления шлифовальных инструментов других аналогичных по свойствам компонентов, например, обыкновенного цемента (портландцемента), в состав которого входят оксид кальция, диоксид кремния, оксиды алюминия и железа.

Бетоны аналогично твердотельным шлифовальным инструментам являются композитами с очень близким процентным содержанием связующего и основных наполнителей – щебня, гравия, песка (которые являются функциональным

аналогом абразивных зерен в шлифовальных инструментах). Отсутствие операции термообработки и относительно низкая стоимость цемента открывает теоретические перспективы для изготовления шлифовальных инструментов с невысокой себестоимостью. Для оценки целесообразности серийного изготовления и применения таких инструментов необходимо прежде всего установить их разрывную прочность и максимально возможную рабочую скорость, а также оценить эффективность шлифования такими инструментами в различных условиях.

Методика исследований

На первом этапе исследований решался вопрос о подборе рецептуры для изготовления шлифовальных кругов с цементом в качестве связующего. Исходными данными здесь послужила рецептура изготовления шлифовальных кругов на бакелитовой и эпоксидной связке, использованная в предшествующих исследованиях для изготовления опытных инструментов [3, 8], а также рецептура бетона марки М400. Рецептура инструментов на бакелите: абразив – 61,5%, смола – 27,7%, криолит – 2,8%, пирит – 8%. Рецептура бетона М400: щебень – 39%, песок – 29%, цемент – 23,5 %, вода – 8,5%. В связи с тем, что процент связующего в обоих случаях достаточно близок, было принято решение сохранить процент абразива, связки и наполнителей, как в инструментах на бакелите, пропорционально уменьшив их при этом на 8,5%, необходимых для введения воды, т.е.: абразив – 56,2%, цемент – 25,3%, криолит – 2,56%, пирит – 7,3%, вода – 8,5%.

При получении смеси на основе цемента было обнаружено, что процент воды недостаточен для получения увлажненной смеси, способной хорошо укладываться в форму. Поэтому процент воды был увеличен за счет пропорционального снижения объемных долей других составляющих. Итоговая рецептура имела следующий состав: абразив – 48,87%, цемент – 22%, криолит – 2,44%, пирит – 6,94%, вода – 19,75%.

Форма для укладки смеси состояла из стального кольца и сердечника, установленных на опорный стальной лист с центрирующими канавками. Кольцо и сердечник предварительно были обмотаны изоляционной лентой, а опорный лист смазан парафином для обеспечения возможности бездефектного извлечения готового шлифовального круга.

Размер изготавливаемых опытных кругов: наружный диаметр – 160 мм, высота – 15 мм, диаметр посадочного отверстия – 32 мм. Для обеспечения стабильности диаметра посадочного отверстия и облегчения извлечения круга из формы у его посадочного отверстия перед укладкой смеси устанавливалось стальное кольцо с толщиной стенки 3,5 мм (см. рис. 1 а, б). Отверждение круга производилось исходя из рекомендаций для бетонов – т.е. три недели при комнатной температуре, после чего производилось извлечение



а)

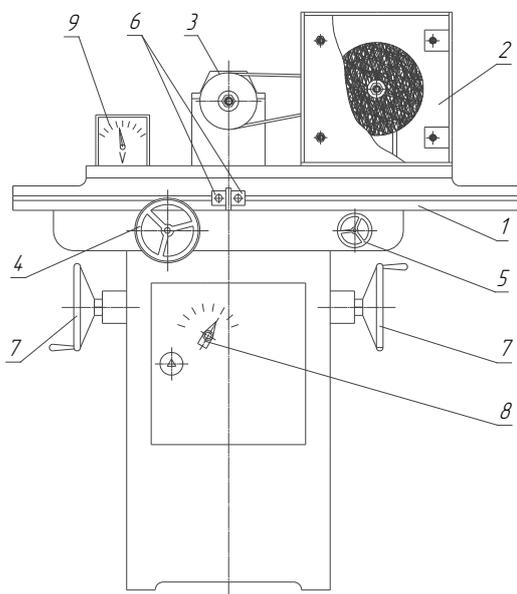
б)

Рис. 1. Внешний вид опытного шлифовального круга прямого профиля на основе цементной связки. (а, б)

Fig. 1. Appearance of an experimental straight profile grinding wheel based on a cement bond. (a, b)



а)



б)

Рис. 2. Внешний вид (а) и конструктивная схема (б) стэнда для испытаний кругов на разрывную прочность на базе станка 3А64Д.

Fig. 2. Appearance (a) and structural diagram (b) of the stand for testing circles breaking strength on the basis of the 3A64D machine.

инструмента из формы и проводились его испытания на механическую прочность.

Испытания производились динамическим методом на специальном стенде на базе шлифовально-заточного станка модели 3А64Д, где штатный асинхронный электродвигатель заменен на двигатель постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения через тиристорный привод (см. рис. 2).

На рабочий стол станка 1 установлен испытательный модуль 2 (толстостенная бронекамера), шпиндель которой соединен со шпиндельным узлом станка 3 клиноременной передачей. Настройка ременной передачи обеспечивается продольным и поперечным перемещением стола 1 путем вращения маховиков 4 и 5. Стол жестко

фиксируется упорами 6. Натяжение ремня осуществляется вертикальным перемещением шпиндельного узла 3 за счет вращения маховика 7. Стенд обеспечивает частоты вращения испытываемых кругов в диапазоне от 500 до 20000 об/мин. При испытании круг устанавливается на шпиндель стэнда, бронекамера закрывается толстостенной стальной крышкой, после чего включается вращение шпинделя на минимальных оборотах. Частота вращения шпинделя постепенно увеличивается с помощью рукоятки переменного резистора 8 и увеличения напряжения, подаваемого на электродвигатель до момента, пока не произойдет разрушение круга. Частота вращения шпинделя контролируется с помощью видеосъемки показаний вольтметра 9, встроенного в



а) б)
 Рис. 3. Внешний вид шлифовального круга на основе цементной связки, разрушенного воздействием центробежных сил.
 Fig. 3. The appearance of the grinding wheel based on a cement bond, destroyed by centrifugal forces.

цепь приводного электродвигателя постоянного тока. Момент разрушения круга фиксируется на видеозаписи по характерному хлопку, что позволяет установить напряжение на электродвигателе в момент разрушения круга и определить скорость его разрыва, исходя из линейной зависимости частоты вращения двигателя постоянного тока от подаваемого на него напряжения и передаточного коэффициента, предварительно установленного для данного стенда (в рассматриваемом случае $1V = 92$ об/мин).

Исходя из диаметра шлифовального круга, рассчитывается линейная скорость его вращения в момент разрыва и определяется максимально возможная рабочая скорость круга путем деления разрывной скорости на коэффициент запаса прочности (для шлифовальных кругов прямого профиля $K_{зп}=2$).

Максимально возможная рабочая скорость кругов, как известно, во многом определяет область и особенности их применения и должна строго соблюдаться (не превышать) при шлифовании по соображениям безопасности персонала [12-15].

Результаты и обсуждение

Для проведения прочностных испытаний изготавливались круги из зерен нормального электрокорунда марки 13А зернистости 63Н (средний размер зерен 630 мкм). Прочностные испытания показали, что шлифовальные круги на основе цементной связки характеризуются классическим характером разрушения дискообразных хрупких объектов от воздействия центробежной силы в виде радиальных сквозных трещин (см. рис. 3 а, б).

В результате испытаний установлено, что разрывная скорость кругов на основе цементной связки составляет 42 м/с, что позволяет работать этими инструментами при максимальных рабочих скоростях 20 м/с. Кроме того, выявлено, что

при выбранной рецептуре зерна недостаточно надежно удерживаются связкой на поверхности инструмента и легко выкрашиваются при внешнем воздействии, что свидетельствует о необходимости совершенствования рецептуры. Так, визуально можно наблюдать, что в круге зерна располагаются со значительными прослойками цемента и для повышения их прочности целесообразно ввести в рецептуру аналог песка, обязательно присутствующего в марках бетона. В качестве песка в шлифовальном круге могут успешно использоваться зерна мелких зернистостей (100-200 мкм). Рациональным представляется также удаление из рецептуры наполнителей криолита и пирита, поскольку они являются весьма мелкодисперсными и не способствуют повышению прочности кругов на основе цемента. Дополнительно целесообразно несколько уменьшить процент воды до 12-15% для снижения пористости получаемых инструментов.

Таким образом, по результатам испытаний установлено, что предполагаемая рациональная рецептура шлифовальных кругов должна быть приближена к рецептурам бетонов марок М400 и М600 и иметь следующее процентное соотношение составляющих: абразив крупной или средней зернистости – 35,3%, абразив мелкой зернистости – 26,2%, цемент – 23,5%, вода – 15%.

Для получения более подробных данных о эффективности шлифовальных инструментов с цементом в качестве связующего необходимы дальнейшие работы по изготовлению шлифовальных кругов с улучшенной рецептурой, их прочностным испытаниям и испытаниям на операции плоского шлифования.

Выводы

Подтверждена техническая возможность изготовления шлифовальных кругов с цементом в качестве связующего. Следует отметить невысо-

кие разрывную прочность и максимальную рабочую скорость шлифовальных кругов (20 м/с) на цементной связке и их склонность к интенсивному износу, что ограничивает область применения таких кругов операциями на невысоких скоростях, с минимальными глубинами и подачами и с минимальными усилиями прижатия между заготовкой и инструментом. Из положительных факторов следует выделить очень низкую себестоимость изготовления инструментов и ожидаемую пониженную температуру при шлифовании, обуславливаемую невысокой износостойкостью инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / под ред. А.М. Ковальчука. – Москва : Машиностроение, 1984. – 288 с.
2. Коротков, А.Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов : монография / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 232 с.
3. Коротков, В.А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов: монография. – Москва: Машиностроение, 2009. – 178 с.
4. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 248 с.
5. Абразивные материалы и инструменты. Каталог / под ред. В.Н. Тыркова. – Москва : ВНИИТЭМР, 1986. – 358 с.
6. Ваксер, Д.Б. Пути повышения производительности при шлифовании. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.
7. Robin Bright, Bond Selection for Production Grinding, Norton – Saint-Gobain abrasives, 20.08.2017 [www.nortonabrasives.com/en-us/resources/expertise/bond-selection-production-grinding].
8. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / под ред. А.Н. Резникова. – Москва : Машиностроение, 1977. – 391 с.
9. Коротков, В.А. Изготовление и результаты испытаний экспериментальных кругов с применением в качестве связки эпоксидной смолы / В.А. Коротков, В.В. Мельников // Научно-технический прогресс: Актуальные и перспективные направления будущего: Сборник VI международной научно-практической конференции, 18.08.2017. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. – Т 2., С. 117-120.
10. Лурье, Г.Б. Шлифовальные станки и их наладка / Г.Б. Лурье, В.Н. Комиссаржевская // – Москва : Высшая школа, 1972. – 416 с.
11. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский // – Москва: Машиностроение, 1985. – 304 с.
12. Joe Sullivan, Choosing The Right Grinding Wheel, Modern Machine Shop, 24.01.2020 [www.mmsonline.com/articles/choosing-the-right-grinding-wheel].
13. Dan Goad, Is Your Roll Grinding Wheel Being Used Efficiently?, Norton Abrasives, 16.09.2019 [www.nortonabrasives.com/en-us/resources/expertise/your-roll-grinding-wheel-being-used-efficiently].
14. M. J. Jackson, A review of the design of grinding wheels operating at excessive speeds, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94, 3979-4010(2018) [link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-1131-2].
15. Fritz Klocke, Sebastian Barth, Patrick Mattfield, High Performance Grinding, Aachen University, ScienceDirect, Procedia CIRP, Volume 46, 2016, pages 266-271 [doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.067].

Vitaly A. Korotkov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Vyacheslav G. Bashtanov**, Senior Lecturer

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING CEMENT AS A BINDER IN GRINDING WHEELS

Abstract: The tensile strength of straight profile grinding wheels, in which cement was used as a binder, was investigated. It has been established that the breaking speed of such circles is 42 m / s, which allows them to be safely operated at operating speeds up to 20 m / s. It is shown that the formulation of a wheel with cement as a binder and the percentage of grains, binder and fillers, similar to the formulation of circles on a bakelite bond, is not optimal, both from the point of view of the strength of retention of grains on the working surface of the tool, and from the point of breaking the strength of the circles. The results obtained indicate that further experiments are required to select a rational formulation of cement-bonded wheels and its approximation in the percentage of components to concrete grades M400 - M600.

Keywords: Grinding, grinding wheels, strength of grinding wheels, wheel recipe, cement bond, testing.

Article info: received December 03, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-1-3-8

REFERENCES

1. Kovalchuk A.M., Fundamentals of design and manufacturing technology of abrasive and diamond tools, Mechanical Engineering, Moscow, 1984.
2. Korotkov A.N., Increase of operational opportunities of grinding tools, Publishing House of Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 2005.
3. Korotkov V.A., Increase of operational opportunities of cutting discs, Machine building, Moscow, 2009.
4. Filimonov L.N. High-speed polishing, Mechanical Engineering, Leningrad, 1979.
5. Tyrkov V.N., Abrasive materials and instruments. Catalogue, All-Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies in Mechanical Engineering and Robotics, Moscow, 1986.
6. Vakser D.B., Ways to increase productivity in grinding, Publishing House of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, Moscow, 2001.
7. Robin Bright, Bond Selection for Production Grinding, Norton – Saint-Gobain abrasives, 20.08.2017 [www.nortonabrasives.com/en-us/resources/expertise/bond-selection-production-grinding].
8. Reznikov A.N., Abrasive and diamond material processing, Mechanical Engineering, Moscow, 1977. Effect of niobium on the secondary precipitates and tempering resistance of spray-formed m3:2 high-speed steel / Wang H., Li Y., Ou P., Shen L., Wen X., Hou L., Cui H., Zhang J. // Journal of Materials Engineering and Performance. 2019. T. 28. № 2. С. 926-937.

9. Korotkov V.A., Melnikov V.V., Manufacture and test results of experimental grinding wheels using epoxy as a binder, Scientific technical progress: Actual and perspective directions of future: Digest of VI international scientific practical conference, 18.08.2017. – Kemerovo : West Siberian scientific center, 2017. – Volume 2, p. 117-120.
10. Lurie G.B., Komissarjevskaja V.N., Polishing machines and its adjustment, Mechanical Engineering, Moscow, 1972.
11. Granovsky G.I., Granovsky V.G., Cutting of metals, High School, Moscow, 1985.
12. Joe Sullivan, Choosing The Right Grinding Wheel, Modern Machine Shop, 24.01.2020 [www.mmsonline.com/articles/choosing-the-right-grinding-wheel].
13. Dan Goad, Is Your Roll Grinding Wheel Being Used Efficiently?, Norton Abrasives, 16.09.2019 [www.nortonabrasives.com/en-us/resources/expertise/your-roll-grinding-wheel-being-used-efficiently].
14. M.J. Jackson, A review of the design of grinding wheels operating at excessive speeds, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94, 3979-4010(2018) [link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-1131-2].
15. Fritz Klocke, Sebastian Barth, Patrick Mattfield, High Performance Grinding, Aachen University, ScienceDirect, Procedia CIRP, Volume 46, 2016, pages 266-271 [doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.067].

Библиографическое описание статьи

Коротков В.А., Баштанов В.Г. Экспериментальная оценка возможности применения цемента в качестве связующего в шлифовальных кругах // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 1 (153). – С. 3-8.

Reference to article

Korotkov V.A., Bashtanov V.G. Experimental evaluation of the possibility of using cement as a binder in grinding wheels. Mining Equipment and Electromechanics, 2021, no.1 (153), pp. 3-8.