

УДК 621.922.3**В.А. Коротков**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТРЕЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ ЗЁРНАМИ

Эффективность процесса шлифования во многом определяется свойствами абразивных зёрен, в том числе их формой и ориентацией в теле шлифовальных инструментов. Форма абразивных зёрен непосредственно влияет на их геометрию, в частности, на величины их передних углов [1, 2, 3] и на эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов [4- 6]. Пространственная ориентация абразивных зёрен в теле инструментов также существенно влияет на геометрию зёрен и эффективность процесса шлифования [6, 7]. Повысить эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов, в частности – отрезных шлифовальных кругов, можно упорядочением геометрии зёрен, т.е. подбором рациональной формы зёрен и их целенаправленным ориентированием для конкретных условий обработки и параметров силового нагружения.

Шлифовальные зёра требуемой формы могут быть получены применением специальных технологий их изготовления (регулированием скорости кристаллизации расплава абразива, различными способами дробления, применением технологий типа изготовления формокорундов и сферокорундов и др.) [8], а также посредством сепарации из исходной массы обычного абразива [5, 6, 9].

Ориентация зёрен при изготовлении шлифовальных инструментов может быть реализована различными способами. Например, известен способ изготовления шлифовальных инструментов с ориентированными зёрнами, при котором абразивную массу, включающую металлизированные шлифовальные зёра, укладывают в прессформу, после чего ориентируют зёра воздействием электромагнитного поля в сочетании с ультразвуковыми колебаниями и производят прессование [10]. Известен также способ изготовления шлифовальных инструментов с ориентированными зёрнами, при котором обычные неметаллизированные шлифовальные зёра, предварительно покрытые пленкой клея, помещают в корпус, заполненный ферромагнитной жидкостью, накладывают электромагнитное поле, под действием которого зёра ориентируются и перемещаются к периферии корпуса, связываются между собой посредством kleевого покрытия, который полимеризуется, образуя шлифовальный круг, после чего корпус разбирают и ферромагнитную жидкость удаляют [11].

Указанные способы обладают рядом недостатков, среди которых сложность и высокая стоимость изготовления шлифовальных инструментов.

Кроме того, применение металлизированных зёрен приводит к более активному проявлению эффекта засаливания шлифовальных инструментов при работе. Применение же специального клея и ферромагнитной жидкости ограничивает номенклатуру изготавливаемых инструментов.

В данной работе рассматривается разработанный и запатентованный способ изготовления шлифовальных инструментов, который предусматривает ориентацию шлифовальных зёрен электростатическим полем [12]. В соответствии с предлагаемым способом в процессе приготовления абразивной смеси шлифовальные зёра смешивают с увлажнителями, связующими, наполнителями и протирают полученную смесь через сито. Непосредственно в прессформе вертикально располагают электроды, представляющие из себя тонкостенные металлические пластины. Электроды располагают таким образом, чтобы обеспечить требуемое направление ориентации зёрен. Поверхности прессформы, контактирующие с электродами, выполняют из диэлектрического материала. Между электродами создают электростатическое поле и абразивную смесь через вибрирующее сито начинают укладывать в прессформу. После того, как образующийся в прессформе слой абразивной смеси достигнет требуемого уровня, вибрацию сита, укладку абразивной смеси и действие электростатического поля прекращают, а электроды извлекают вверх из прессформы. Наружную поверхность слоя абразивной смеси, уложенной в прессформу, разравнивают и удаляют её излишки, осуществляют формование, извлекают заформованный инструмент из прессформы и производят термообработку. Предлагаемым способом можно изготавливать широкую номенклатуру шлифовальных инструментов с различными направлениями ориентации зёрен на наиболее распространённых типах связок – керамической, бакелитовой, глифталевой и других. Способ позволяет также изготавливать отрезные шлифовальные круги с упрочняющими элементами в виде армирующих стеклосеток и втулок.

На основе описанного способа изготовлены экспериментальные отрезные круги с ориентированными зёрами и с характеристикой $230 \times 3 \times 32$ 13A 40Н [Θ] T2 БУ 80 м/с. В частности, изготовлены отрезные круги с радиальной ориентацией зёрен, т.е. их пространственным расположением вдоль радиусов, в направлении от центра к периферии круга ($\Theta = 90^\circ$). Изготовлены также отрезные шлифовальные круги с тангенциальной ори-

ентацией зёрен ($\Theta = 0^\circ$), при которой наибольшие оси симметрии зёрен располагались параллельно плоскости резания. Кроме того, в качестве сравнительного эталона из той же абразивной смеси, на том же оборудовании и за один технологический цикл изготовлены обычные отрезные круги без ориентации шлифовальных зёрен ($\Theta = \text{var}$). Изготовленные опытные шлифовальные инструменты в дальнейшем были подвергнуты сравнительным испытаниям резанием.

Известно, что в число важных эксплуатационных показателей отрезных шлифовальных кругов входят: режущая способность (производительность шлифования) кругов, их износ (расход), мощность, потребляемая на резание, качество отрезки заготовок, разброс по твёрдости и структуре, соответствие по размерам, неуравновешенность, допустимая рабочая скорость и пр. Для оценки этих показателей на практике используют как стандартные, так и оригинальные методики [6, 8, 13, 14].

Анализ показывает, что тестирование отрезных кругов согласно методике, содержащейся в ГОСТ 21963–2002, носит упрощённый характер и годится главным образом для производственных целей. Более тонкие исследования требуют более обширной и точно подобранный информации относительно условий проведения испытаний. Поэтому для проведения сравнительных испытаний опытных отрезных шлифовальных кругов выбрана схема резания с постоянным усилием прижатия заготовки к кругу, а в качестве контролируемых эксплуатационных показателей приняты следующие параметры:

1. Режущая способность (Q_m), называемая также производительностью шлифования и определяемая как отношение массы снятого материала заготовки за определённый период времени.

2. Коэффициент шлифования ($K_{\text{ш}}$), вычисляемый как отношение массы снятого материала заготовки к израсходованной массе круга.

3. Эффективная мощность резания ($W_{\text{эф}}$), характеризующая уровень энергозатрат при работе шлифовального круга и выражаемая через разницу мощностей рабочего и холостого ходов.

4. Теплонапряжённость процесса отрезки (T).

При проведении испытаний в качестве базовой заготовки, согласно требованиям ГОСТ 21963–2002, использовались трубы $21,3 \times 2,8$ из стали 10. Дополнительно использовались также трубы 20×2 из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и трубы 20×2 из стали ШХ15, закалённые в масле на твёрдость 60 HRC. Такой выбор заготовок обусловлен стремлением испытать опытные круги на стальях из разных групп, отличающихся по химическому составу и по типу кристаллической структуры, с тем, чтобы была возможность экстраполировать полученные результаты и выводы на максимально широкий круг обрабатываемых материалов.

Для определения температуры в районе зоны резания при проведении испытаний опытных отрезных шлифовальных кругов использовался способ, основанный на анализе цветов побежалости, возникающих при нагреве на поверхности металла. Данный подход выбран в связи с тем, что в тонкостенной трубе технически сложно расположить какое-либо измерительное устройство, например искусственную термопару. Кроме того, несмотря на невысокую точность, способ определения температуры по цветам побежалости даёт наглядное представление о глубине зоны термического влияния в продольном и поперечном направлениях относительно плоскости резания.

Размеры зоны термического влияния оценивались путём анализа изображений фрезерованных лысок вдоль оси труб после их сканирования с разрешением 1200 точек на дюйм, цветностью 24 разряда и автоматическими настройками оптической чёткости. Последующая обработка изображений заготовок в графическом редакторе «Paint» позволяла определять с помощью каталога цветов

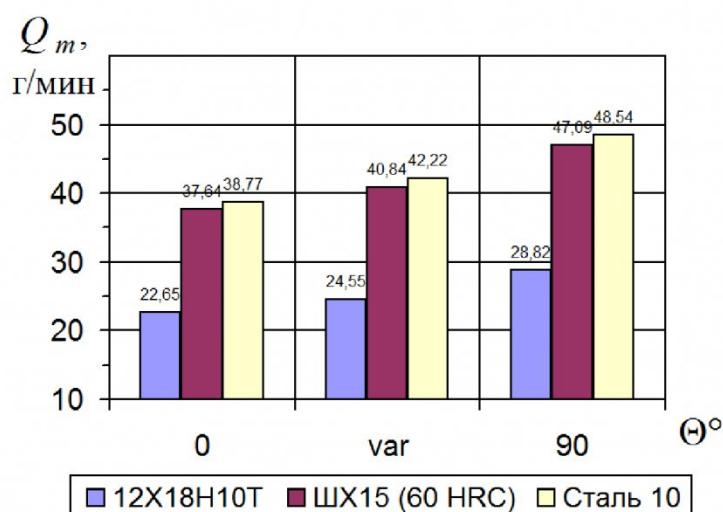


Рис. 1. Зависимость режущей способности отрезных кругов (Q_m) от угла ориентации зёрен (Θ)

побежалости характерные температурные зоны в зависимости от их удаления от плоскости отрезки. На основе полученных данных строились графики температуры нагрева металла на различном удалении от плоскости отрезки при работе кругами разных типов.

Для проведения экспериментов использован испытательный комплекс на базе универсально-заточного станка модели ЗА64Д, на котором при помощи рычажно-балансирного устройства с набором грузов обеспечивалось постоянное усилие прижатие заготовки к кругу. Полученные экспериментальные данные по оценке режущей способности отрезных кругов с ориентированными зёренами представлены диаграммой на рис. 1.

Анализ этих данных (рис. 1) показывает, что при реализации предложенного способа изготовления шлифовальных инструментов достигается не только визуально фиксируемое (при укладке абразивной смеси в прессформу) ориентирование шлифовальных зёрен, но также и ощутимая разница эксплуатационных показателей готовых шлифовальных инструментов. Так, режущая способность отрезных кругов с тангенциально ориентированными зёренами ($\Theta = 0^\circ$) на 7,7–8,2 % ниже, чем у обычных кругов с неориентированными зёренами ($\Theta = \text{var}$). Отрезные шлифовальные круги с радиальной ориентацией зёрен ($\Theta = 90^\circ$) характеризуются повышенной режущей способностью (на 15–17,4 %) по сравнению со стандартными инструментами. Причиной роста режущей способности отрезных кругов при переходе от тангенциальной ориентации зёрен ($\Theta = 0^\circ$) к радиальному их расположению в теле инструментов ($\Theta = 90^\circ$) является различие величин углов резания при различных направлениях ориентации зёрен. Так, радиально расположенные зёра имеют более острые передние и большие задние углы, по сравнению с тангенциально ориентированными зёренами. Соответственно, они при одинаковых режимах резания более глубоко внедряются в обрабатываемую

поверхность и срезают стружки большего сечения, по сравнению с неориентированными или тангенциально ориентированными зёренами. Другой причиной является то, что количество режущих кромок, находящихся на рабочей поверхности шлифовальных кругов с радиально ориентированными зёренами несколько превышает количество режущих кромок при тангенциальном их расположении в теле инструмента. Изучение литературных данных показывает, что полученные результаты коррелируют с исследованиями по обрабатываемости материалов шлифованием [15, 16, 17]. Так отмечается, что наиболее трудно (среди сравниваемых марок) обрабатываются стали со структурой аустенита (сталь 12Х18Н10Т), затем мартенсита (закалённая сталь ШХ15) и перлита (сталь 10) [16, 18].

Опытные данные о коэффициентах шлифования отрезных кругов с различной ориентацией зёрен представлены на рис. 2.

Полученные данные (рис. 2) показывают, что ориентация шлифовальных зёрен существенно влияет на эффективность работы отрезных кругов. Так, коэффициенты шлифования отрезных кругов с тангенциально ориентированными зёренами здесь на 24,6–28,9 % выше, чем у обычных кругов. У отрезных кругов с радиальной ориентацией зёрен, напротив, коэффициенты шлифования на 22,6–30,7 % ниже, чем у стандартных инструментов. Причиной снижения коэффициентов шлифования отрезных кругов при переходе от тангенциального ($\Theta = 0^\circ$) к радиальному направлению ориентации шлифовальных зёрен ($\Theta = 90^\circ$) является повышенная интенсивность износа последних. Следует также отметить, что по результатам испытаний во всех случаях выявлено более значительное влияние ориентации шлифовальных зёрен на коэффициент шлифования отрезных кругов, чем на их режущую способность.

Результаты оценки эффективной мощности резания отрезных кругов с ориентированными

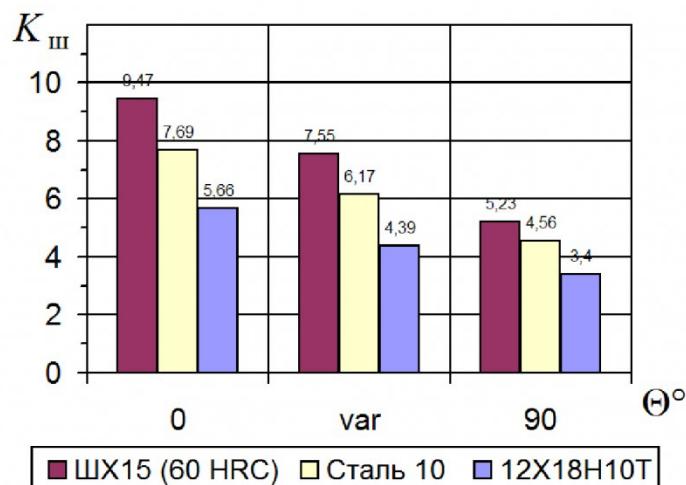


Рис. 2. Зависимость коэффициента шлифования отрезных кругов ($K_{\text{ш}}$) от угла ориентации зёрен (Θ)

зёрами представлены на рис. 3.

Из диаграмм (рис. 3) следует, что для всех обрабатываемых материалов фиксируется повышение эффективной мощности резания при переходе от кругов с тангенциальной ориентацией зёрен к кругам с радиальным их расположением (в 1,12–1,16 раза). Эффективная мощность резания при работе отрезными кругами с тангенциально ориентированными зёрами на 4,8–4,9 % ниже, чем у обычных кругов с неориентированными зёрами. При эксплуатации отрезных кругов с радиальной ориентацией зёрен, напротив, эффективная мощность резания на 6,3–10,6 % выше, чем у стандартных инструментов.

Изучение полученных данных показывает, что для всех использованных при испытаниях марок сталей прослеживается одинаковая взаимосвязь между ростом режущей способности отрезных кругов (рис. 1) и увеличением эффективной мощности резания (рис. 3). Сравнительный анализ эффективных мощностей резания при обработке различных материалов говорит и о том, что суще-

ственное влияние на данный эксплуатационный показатель оказывают химический состав, тип кристаллической структуры и размеры разрезаемых заготовок.

Результаты оценки теплонапряженности процесса отрезки кругами с ориентированными зёрами представлены на рис. 4. Анализ всех рассмотренных случаев отрезки заготовок из сталей различных марок (рис. 4) показывает, что целенаправленное ориентирование шлифовальных зёрен в отрезных кругах позволяет регулировать теплонапряженность процесса резания. Независимо от марки стали, во всех случаях при переходе от тангенциальной ориентации зёрен ($\Theta = 0^\circ$) к радиальному их расположению ($\Theta = 90^\circ$) общая теплонапряженность процесса резания и степень нагрева заготовок снижаются. Так, применение отрезных кругов с радиальной ориентацией зёрен ($\Theta = 90^\circ$), по сравнению с обычными отрезными кругами с неориентированными зёрами ($\Theta = \text{var}$), позволяет снизить температуру в зоне резания на 20–30 °C. Следует отметить, что во всех случаях процесс

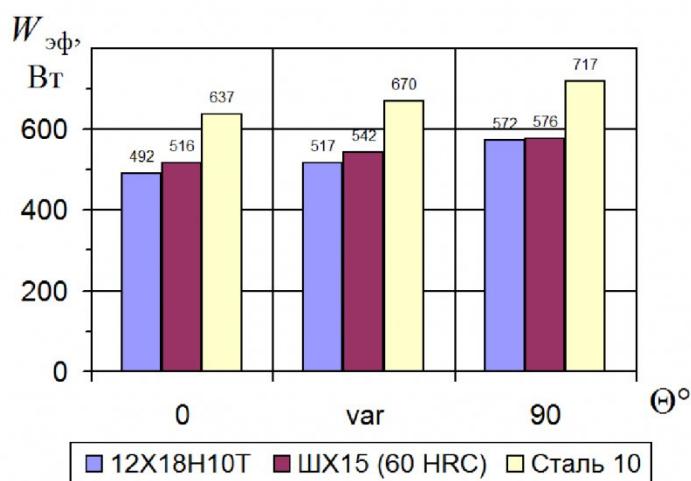


Рис. 3. Зависимость эффективной мощности резания отрезных кругов ($W_{\text{эф}}$) от угла ориентации зёрен (Θ)

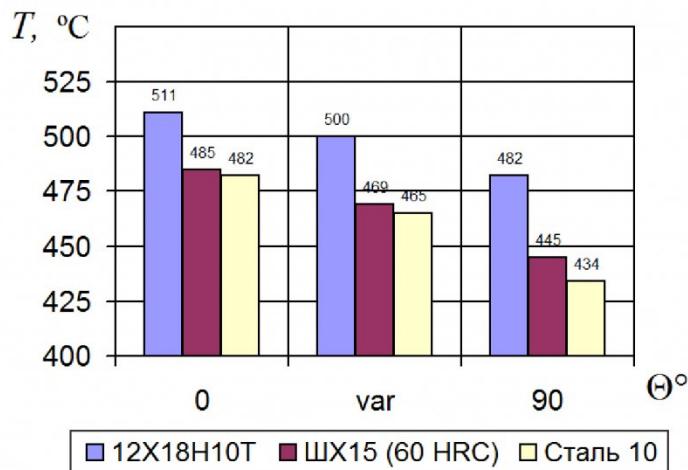


Рис. 4. Зависимости температуре в зоне отрезки (T) от угла ориентации шлифовальных зёрен (Θ) в отрезных кругах

отрезки заготовок из стали 12Х18Н10Т отличался наибольшей теплонапряженностью.

В результате исследований установлено, что предложенный способ изготовления шлифовальных инструментов позволяет эффективно ориентировать шлифовальные зёрна и получать изделия с повышенными эксплуатационными показателями. Так, режущая способность отрезных кругов с радиальной ориентацией зёрен при обработке различных материалов на 15–17 % выше, чем у стандартных инструментов. Коэффициент шлифования отрезных кругов с тангенциальной ориентацией зёрен 25–29 % выше, чем у обычных кругов с неориентированными зёрнами. Применение отрезных кругов с радиальной ориентацией зёрен по сравнению с обычными инструментами позволяет снизить температуру в зоне резания на 20–30 °C.

Таким образом, в случаях, когда необходимо максимально снизить износ инструмента и при этом высокие температуры в зоне резания не являются сдерживающим фактором, то целесообразно ориентировать шлифовальные зёрна в тангенциальном направлении. В тех же случаях, когда требуется повысить производительность обработки или снизить температуру в зоне резания, необходимо использовать шлифовальные инструменты с радиально ориентированными зёрнами.

При проектировании различных типов шлифовальных инструментов целесообразно учитывать фактор ориентации зёрен и использовать методику по выбору рациональных углов ориентации зёрен с учетом требований к процессу обработки и характеру силового нагружения [19, 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков, А. Н. Эксплуатационные свойства абразивных материалов : монография. – Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 122 с.
2. Грановский, Г. И. Резание металлов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высшая школа, 1985. – 304 с.
3. Ваксер, Д. Б. Пути повышения производительности при шлифовании. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 448 с.
4. Зайцев, А. Г. Влияние формы алмазного зерна на износостойкость круга при шлифовании твёрдых сплавов // Вестник машиностроения. – 1975. – № 2. – С. 76–77.
5. Коротков, А. Н. Повышение эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов : монография / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 232 с.
6. Коротков, В. А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов: монография. – М.: Машиностроение, 2009. – 178 с.
7. Люкинин, В. С. Повышение работоспособности шлифовальных лент путём использования зёрен с контролируемой формой и ориентацией : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2007. – 25 с.
8. Абразивные материалы и инструменты. Каталог / под. ред. В. Н. Тыркова. – М. : ВНИИТЭМР, 1986. – 358 с.
9. Плисс, Д. А. Вибрационные сепараторы / Д. А. Плисс, В. А. Анахин, В. Н. Монахов. – М. : Недра, 1991. – 157 с.
10. А. с. 582957 СССР, М. Кл³. В 24Д 3/00. Способ изготовления абразивного инструмента / В. И. Зайцев. – № 2198300/25-08 ; заявл. 11.12.75 ; опубл. 05.12.77, Бюл. № 45. – 2 с.
11. А. с. 1495100 СССР, М. Кл³. В 24Д 5/00. Способ изготовления абразивного инструмента / Б. Н. Бирюков, И. М. Буюкли, Л. В. Попова и др. – № 4281271/31-08 ; заявл. 13.07.87 ; опубл. 23.07.89, Бюл. № 27. – 3 с.
12. Патент на изобретение №2369474. Способ изготовления шлифовальных инструментов с ориентированными зёрнами / Коротков В. А. – №2008105086; заявл. 11.02.08; опубл. 10.10.09. Бюл. №28.
13. Абразивная и алмазная обработка. Справочник / под ред. А. Н. Резникова. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с.
14. Лурье, Г. Б. Абразивные инструменты и их эксплуатация. – М. : Машиностроение, 1971. – 62 с.
15. Корчак, С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 279 с.
16. Маслов, Е. Н. Теория шлифования металлов. – М. : Машиностроение, 1974. – 319 с.
17. Филимонов, Л. Н. Высокоскоростное шлифование. – Ленинград : Машиностроение, 1979. – 246 с.
18. Маслов, Е. Н. Основные направления в теории резания абразивным, алмазным и эльборовым инструментом / Е. Н. Маслов, Н. В. Постникова. – М. : Машиностроение, 1975. – 48 с.
19. Коротков, В. А. Исследование геометрических и прочностных характеристик ориентированных шлифовальных зёрен / В. А. Коротков, Е. М. Минкин // Обработка металлов. – 2012. – № 3. – С. 42–47.
20. Петрушин, С. И. Теория несвободного резания материалов. Расчёт напряжённо-деформированного состояния в зоне резания / С. И. Петрушин, А. В. Проскоков // Вестник машиностроения. – 2010. № 2. – С. 34–40.

Авторы статьи:

Коротков

Виталий Александрович,
канд. техн. наук, доц. каф. «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ
e-mail: korotkov-va@mail.ru