

На правах рукописи



Дубинкин Дмитрий Михайлович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
ОБДИРОЧНЫХ КРУГОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЗЁРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ**

Специальность 05.03.01

Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2009

Работа выполнена на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты»  
Кузбасского государственного технического университета.

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор  
Коротков Александр Николаевич

**Официальные оппоненты** доктор технических наук, профессор  
Петрушин Сергей Иванович

кандидат технических наук, доцент  
Ласуков Александр Александрович

**Ведущая организация** ООО «Машиностроительная компания  
НИКО» г. Кемерово

Защита состоится «8» апреля 2009г. в 17<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.01 при Томском политехническом университете по адресу: Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 53-а.

Автореферат разослан «\_\_» марта 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доц.



Костюченко Т.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Обдирочные шлифовальные круги на бакелитовой связке широко используются во многих областях машиностроения. В частности, эти инструменты в больших количествах применяются на заготовительных и котельно-сборочных операциях при удалении с заготовок дефектного слоя материала после литья,ковки и штамповки, а также при обработке сварных швов в заготовках (карт, днищ, обечаек и др.). Этому способствуют как универсальные возможности данных инструментов, так и относительная доступность абразивных материалов, из которых они изготавливаются.

Вместе с тем, патентно-литературный анализ и практика использования обдирочных кругов на производстве показывают, что эффективность их применения сравнительно невелика. Одна из основных причин такого положения состоит в недостаточно полном использовании эксплуатационных возможностей компонентов обдирочного круга. В первую очередь это касается его микрорежущих элементов – шлифовальных зёрен, эффективность применения которых, как установлено, во много раз меньше их реальных потенциальных возможностей.

Известно, что при работе шлифовального инструмента, в частности обдирочного круга, лишь часть абразивных зёрен, находящихся в его структуре, активно участвует в процессе резания, изнашиваясь по площадке или микроскалываясь. Остальные же зёрна практически не задействованы в этом процессе, деформируя металл без срезания стружки, либо раскалываясь на части и вылетая из связки. Это, в основном, обусловлено тем, что шлифовальные зёрна, используемые при изготовлении обдирочных кругов на бакелитовой связке, имеют произвольную форму, и, как следствие, хаотичную геометрию. Поэтому повышение эксплуатационных возможностей обдирочных шлифовальных кругов на основе использования шлифовальных зёрен с упорядоченной и контролируемой формой является актуальной проблемой.

Актуальность работы подтверждается также тем, что на основе ее тематики выигран грант по федеральной программе «Старт-06» «Новое поколение шлифовальных инструментов на основе зёрен с заданной ориентацией и контролируемой формой».

**Цель работы** состоит в повышении эксплуатационных возможностей обдирочных шлифовальных кругов на операциях обработки сварных швов путем использования шлифовальных зёрен с контролируемой формой.

**Методы исследования.** Работа опирается на привлечение фундаментальных положений теории шлифования материалов, теории вибрационного сепарирования частиц по форме, теории прочности хрупких тел, теории планирования экспериментов, корреляционно-регрессионного анализа, математической обработки экспериментальных данных и построении адекватных моделей. В работе использованы известные и оригинальные методики по оценке эксплуатационных показателей новых конструкций инструментов и качества обрабатываемых ими поверхностей. Эксперименты проводились в лабораторных и производственных условиях с использованием современных измерительных приборов и оборудования. Обработка результатов испытаний осуществлялась с широким привлечением возможностей ЭВМ.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- целенаправленный подбор формы зёрен, как путь повышения эксплуатационных возможностей обдирочных кругов;
- конструкции и технология изготовления экспериментальных обдирочных кругов, содержащих в своей структуре зёрна с контролируемой, одинаковой и специально подбираемой формой;
- методики испытаний экспериментальных обдирочных кругов;
- результаты исследований влияния коэффициента формы ( $K_{\phi}$ ) зёрен на эксплуатационные характеристики обдирочных кругов;
- математические модели, позволяющие прогнозировать и целенаправленно задавать необходимые эксплуатационные показатели обдирочных кругов в соответствии с требуемой производительностью и качеством обработки деталей путем варьирования формой зёрен;
- рекомендации по повышению эксплуатационных возможностей обдирочных кругов на основе подбора шлифовальных зёрен по форме.

### **Научная новизна работы** состоит в:

- разработке принципа создания обдирочных шлифовальных кругов, имеющих в своём составе зёрна с контролируемой, одинаковой и специально подбираемой формой (заявка на патент РФ №2008149737);
- разработке методик по оценке эксплуатационных показателей экспериментальных кругов и качества обдирочного шлифования;
- установлении влияния формы шлифовальных зёрен на эксплуатационные показатели обдирочных кругов (интенсивность съёма металла, износ, коэффициент шлифования, эффективную мощность шлифования), а также на качество обработки заготовок (температуру резания, шероховатость обработанной поверхности, микротвёрдость и макроструктуру приповерхностных слоев металла сварных швов, механические свойства сварных соединений);
- разработке математических моделей, отражающих влияние формы шлифовальных зёрен на эксплуатационные характеристики обдирочных кругов на бакелитовой связке и на качество обработки заготовок.

### **Практическая ценность работы** заключается в:

- разработке программно-испытательного комплекса, позволяющего оценивать эксплуатационные возможности обдирочных шлифовальных кругов (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006614134 РФ и об официальной регистрации ТИМС – топологии интегральной микросхемы №2007630017 РФ);
- изготовлении опытных партий обдирочных шлифовальных кругов ПП 150×25×32 13А 63 (13А 80) [ $K_{\phi}$ ] 35 37 БУ, обладающих более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению со стандартными кругами;
- разработке практических рекомендаций по изготовлению и по эффективному и рациональному использованию обдирочных кругов с контролируемой формой зёрен и режимов резания ими в соответствии с предъявляемыми требованиями по производительности и качеству обработки.

**Реализация результатов работы.** Опытные образцы обдирочных шлифовальных кругов прошли испытания и внедрены на ООО “ЭЛЕКТРОПРОМ”

(г. Прокопьевск), “Кузбасская вагоностроительная компания” филиал ОАО “АЛТАЙВАГОН” (г. Кемерово), ООО фирма “ФАЛАР” (г. Кемерово). Разработки, выполненные по теме диссертации, используются также в учебном процессе для студентов специальности 151002 “Металлообрабатывающие станки и комплексы” ГУ КузГТУ.

**Апробация работы.** Основные положения работы доложены и обсуждены на IV-й Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г. Бийск, 2004 г.), на Всероссийских научно-практических конференциях «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» (г. Новосибирск, 2004, 2006, 2007, 2008 г.), на Региональных научно-практических конференциях студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета (г. Кемерово, 2006, 2007, 2008 г.), на V-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии и экономика в машиностроении» (г. Юрга, 2007 г.), на 13-й Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (г. Кемерово, 2007 г.), на I-й Всероссийской научно-практической конференции «Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса» (г. Кемерово, 2007 г.), на VII-й Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах» (г. Кемерово, 2008 г.), на IV-й Международной научно-технической конференции «Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении» (г. Тюмень, 2008 г.). Результаты диссертационной работы обсуждались также на научных семинарах кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ в период с 2002 по 2008 гг. и доложены на заседании кафедры «Технология автоматизированного машиностроительного производства» ТПУ в 2009 г.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 16 работ, получено 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ и ТИМС РФ. При этом 5 статей изданы в журналах, входящих в перечень ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 197 страницах машинописного текста, содержит 126 рисунков, 15 таблиц, список литературы из 165 наименований и 7 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и обозначены пути ее достижения, отражены научная новизна и практическая ценность работы, представлены сведения о её реализации и апробации, приведена информация об опубликовании результатов работы, а также о её структуре и объёме.

**В первой главе** приведён патентно-литературный обзор, отражающий разновидности конструкций, типоразмеры, внутреннее строение и области применения обдирочных шлифовальных кругов на бакелитовой связке; рассмотрены вопросы исследования физико-механических свойств шлифовальных зёрен и установления их влияния на работоспособность шлифовальных инструментов, изучены пути повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов.

Показано, что существующие способы повышения эксплуатационных возможностей обдирочных кругов пока не охватывают вопросы влияния формы и геометрии шлифовальных зёрен, используемых для изготовления этих инструментов, несмотря на то, что от геометрии шлифовальных зёрен могут зависеть конечные результаты применения обдирочных кругов.

Влияние формы и геометрии шлифовальных зёрен на эффективность процесса шлифования в той или иной мере затрагивалось в работах Бокучавы Г.В., Ваксера Д.Б., Зайцева А.Г., Ильичева Л.Л., Ипполитова Г.М., Короткова А.Н., Кудасова Г.Ф., Лурье Г.Б., Маслова Е.Н., Резникова А.Н., Старкова В.К., Филимонова Л.Н., Ящерицина П.И., Opitz H., Brückner K. и других авторов. Анализ их работ показывает, что шлифовальные зёрна далеко не полностью используют свои потенциальные возможности. Причин, формирующих этот недостаток достаточно много и они разнообразны. К ним относятся: наличие дефектов в зёрнах, их склонность к раскрашиванию и малая прочность, низкая адгезия со связкой и т.д. Но одна из основных причин низкой работоспособности зёрен состоит в том, что они имеют произвольную форму и, как следствие, непредсказуемую геометрию. Поэтому подбор формы шлифовальных зёрен при изготовлении обдирочных кругов является перспективным путем решения вопроса повышения эксплуатационных возможностей этих инструментов.

Основываясь на изложенных аргументах, сформулирована цель данной работы и намечены задачи исследования.

**В второй главе** отражена технология изготовления предлагаемых конструкций обдирочных шлифовальных кругов из зёрен с контролируемой формой и приведены характеристики используемого технологического оборудования и оснастки; рассмотрены вопросы сепарации абразивных материалов по признаку формы; приведены результаты исследований формы шлифовальных зёрен нормального электрокорунда 13А 63 и 13А 80, используемых при изготовлении обдирочных кругов. В частности, описаны этапы модернизированного технологического процесса изготовления экспериментальных кругов, включающего сепарацию зёрен, приготовление формовочной смеси, формование и термообработку опытных инструментов.

Приведено обоснование того, что для классификации абразивов по признаку формы приемлем и эффективен вибрационный метод, основанный на передвижении абразивных частиц по разным траекториям в результате комбинированного действия сил собственной тяжести, трения и вибрационного воздействия.

Для исследования формы шлифовальных зёрен и для изготовления экспериментальных обдирочных кругов произведён рассев по признаку формы на вибрационном сепараторе шлифовальных зёрен нормального электрокорунда 13А 63 и 13А 80. Изображения рассеянных и предварительно отсканированных на планшетном сканере шлифовальных зёрен, в количестве не менее 100 штук из каждой ячейки вибрационного сепаратора, заносились в программу, которая в автоматическом режиме определяла их коэффициент формы ( $K_{\phi}$ ), количественно отражающий разновидность той или иной формы зёрен в изготавливаемом инструменте в виде отношения диаметров описанных ( $D_{оп}$ ) и вписанных окружностей ( $D_{вп}$ ) в проекции контура рассматриваемых зёрен.

Рассев по форме шлифовальных зёрен, используемых для производства обдирочных кругов и изготовленных традиционным способом путём дробления слит-

ка электрокорунда, ещё раз подтвердил, что этот параметр меняется в широком диапазоне (рис. 1).

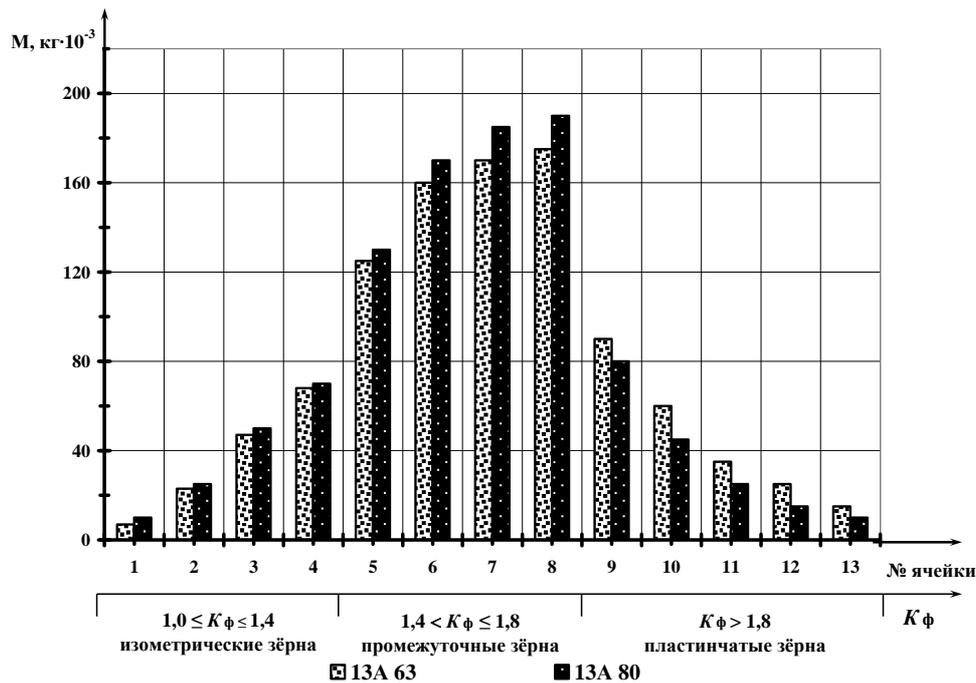


Рис. 1. Распределение исходной массы шлифовальных зёрен 13А63 и 13А80 по форме (по ячейкам вибросепаратора)

Изготовление опытной партии экспериментальных обдирочных кругов ПП150×25×32 13А 63 (13А 80) [ $K_{\phi}$ ] 35 37 БУ производилось в условиях кафедры «МСИИ» КузГТУ и ОАО «Юргинские абразивы» (г. Юрга). При этом за основу взят типовой технологический процесс, реализуемый на ОАО «Юргинские абразивы», модернизированный введением дополнительной операции – предварительной сортировки исходной массы зёрен 13А63 и 13А80 по форме.

Обдирочные круги изготавливались из шлифовальных зёрен, имеющих следующую форму: изометрическую (рис. 2, а), со средним коэффициентом формы зёрен  $K_{\phi} \approx 1,28$ ; промежуточную (рис. 2, б) –  $K_{\phi} \approx 1,52$ ; произвольную (рис. 2, в) –  $K_{\phi} \approx 1,81$ ; игольчатую (рис. 2, г) –  $K_{\phi} \approx 2,30$ .

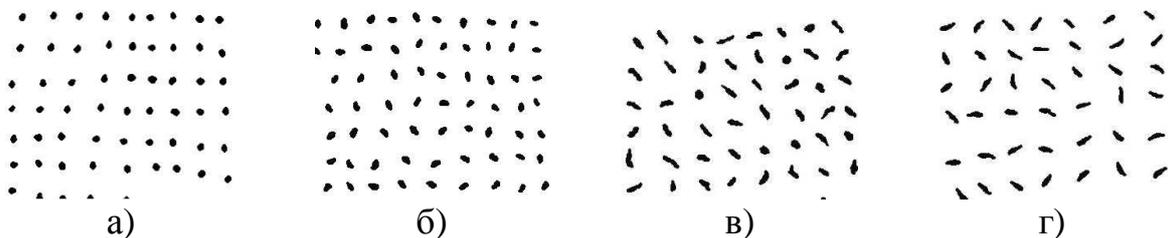


Рис. 2. Разновидности форм шлифовальных зёрен использованных для изготовления экспериментальных (а, б, г) и стандартных (в) кругов:  
 а) изометрическая ( $K_{\phi} \approx 1,28$ ); б) промежуточная ( $K_{\phi} \approx 1,52$ );  
 в) произвольная ( $K_{\phi} \approx 1,81$ ); г) игольчатая ( $K_{\phi} \approx 2,30$ )

Проведённые в условиях ОАО «Юргинские абразивы» испытания экспериментальных обдирочных кругов показали их полное соответствие нормативно-техническим требованиям, предъявляемым ГОСТ 23182 к данному типу инструментов.

В третьей главе изложены методики исследований по установлению влияния формы шлифовальных зёрен на показатели работоспособности обдирочных кругов; приведено описание оборудования, приборов, оснастки и заготовок для проведения экспериментов; описан математический аппарат обработки результатов экспериментов и построения математических моделей, отражающих влияние формы шлифовальных зёрен на эксплуатационные показатели обдирочных кругов.

В частности, для всесторонней оценки эксплуатационных возможностей экспериментальных обдирочных кругов разработаны методики по определению: режущей способности ( $Q_m$ ); интенсивности износа обдирочного круга ( $h$ ); коэффициента шлифования ( $K_{ш}$ ); эффективной мощности, затрачиваемой на шлифование ( $W_e$ ); температуры в зоне резания ( $T$  °С); шероховатости ( $R_a$ ); микротвёрдости ( $H\mu$ ) и макроструктуры приповерхностных слоев металла сварного шва.

Для определения эксплуатационных возможностей обдирочных кругов спроектирован и изготовлен программно-испытательный комплекс, включающий механическую (рис. 3, а) и программно-измерительную части (рис. 3, б). При проектировании механической части комплекса воспроизведены среднестатистические условия ручной работы оператора-шлифовщика (подача и усилие прижатия) на основе предварительно проведенного цикла антропометрических измерений. Благодаря этому все последующие испытания проводились в одинаковых и объективных условиях. Программно-измерительная часть позволяла непосредственно в процессе обдирочного шлифования одновременно фиксировать следующие параметры: скорость резания ( $V_{кр.}$ , м/с); температуру в зоне резания ( $T$ , °С); напряжение ( $U$ , В) и силу тока ( $I$ , А) для расчета эффективной мощности, затрачиваемой на шлифование ( $W_e$ , Вт); время обработки ( $\tau$ , мин).

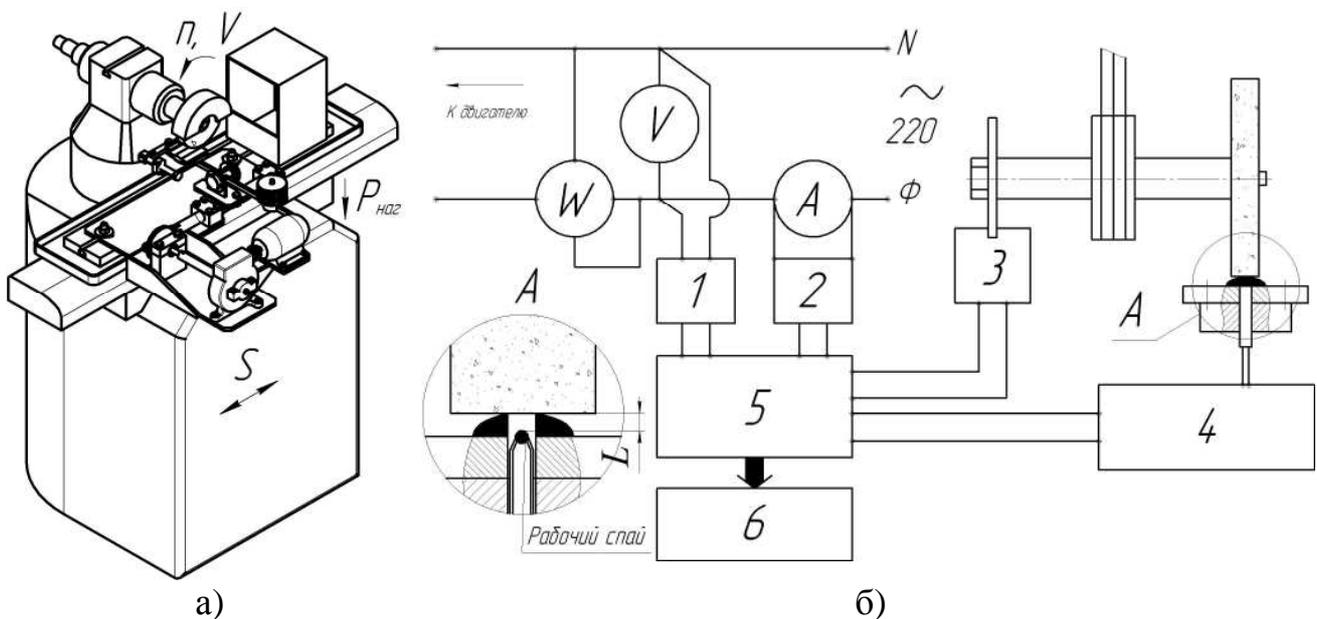


Рис. 3. Программно-испытательный комплекс: а) схема испытательного стенда; б) программно-измерительная часть: 1 - датчик напряжения ( $U$ , В); 2 - датчик силы тока ( $I$ , А); 3 - датчик окружной скорости круга ( $V_{кр.}$ , м/с); 4 - измеритель температуры мод. ТРМ1 А-Щ2-ТП-И; 5 - ТИМС "Частотно-амплитудный преобразователь" №2007630017 РФ; 6 - ЭВМ и программа "WaveAnalizator" №2006614134 РФ

В качестве обрабатываемых заготовок использовались фрагменты из листовой стали, соединенные между собой автоматической сваркой под слоем флюса. Для изготовления заготовок использовались следующие марки сталей и сварочные материалы:

– сталь 09Г2С (ГОСТ 19281), сварочная проволока Св-10НМА (ГОСТ 2246), флюс ОСЦ-45 (ГОСТ 9087), твердость металла шва 229НВ;

– сталь СтЗсп (ГОСТ 380), сварочная проволока Св-08ГА (ГОСТ 2246), флюс АН-348А (ГОСТ 9087-81), твердость металла шва 250НВ;

– сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632), сварочная проволока Св-07Х18Н9ТЮ (ГОСТ 2246), флюс АН-26С (ГОСТ 9087), твердость металла шва 285НВ.

С целью учета возможно большего числа факторов, влияющих на процесс шлифования обдирочными кругами с контролируемой формой зёрен, применен метод математического планирования эксперимента.

В качестве варьируемых параметров и интервалов использовались:  $K_{\phi}$  – коэффициент формы зёрен ( $K_{\phi}=1,28\dots2,30$ );  $V_{кр}$  – окружная скорость круга ( $V_{кр}=30\dots50$  м/сек);  $S$  – подача ( $S=2,32\dots4,00$  м/мин);  $P_{наг}$  – прилагаемая нагрузка ( $P_{наг}=37\dots71$  Н).

Для установления функциональной зависимости  $y=f(V_{кр}, P_{наг}, K_{\phi}, S)$  использована общепринятая в теории резания формула (1), которая отражала статистическую закономерность между коэффициентом формы зёрен ( $K_{\phi}$ ), элементами режима обработки (входными параметрами:  $K_{\phi}, V_{кр}, P_{наг}, S$ ) и объектом исследования (выходными параметрами:  $Q_m, h, K_{ш}, W_e, T; R_a$ ):

$$y = C \cdot V_{кр}^{m1} \cdot P_{наг}^{m2} \cdot K_{\phi}^{m3} \cdot S^{m4} \quad (1)$$

где  $y$  – объект исследования (выходной параметр);  $C$  – постоянный коэффициент;  $m1, m2, m4$  – показатели степени при составляющих режимах резания;  $m3$  – показатель степени коэффициента формы зёрен.

Полученные модели оценивались путем: расчета доверительных интервалов по критерию Стьюдента (при уровне значимости  $\alpha = 0,1$ ); статистикой Фишера; значимостью коэффициентов моделей; коэффициентом корреляции.

**Четвертая глава** посвящена исследованию влияния формы шлифовальных зёрен и режимов резания на эксплуатационные возможности обдирочных кругов и качество обработанных ими поверхностей заготовок; здесь же представлены математические модели исследуемых зависимостей.

По результатам полнофакторных экспериментов построены графики (рис. 4), отражающие влияние формы шлифовальных зёрен марки 13А80 и режимов резания на эксплуатационные возможности обдирочных кругов.

В результате статистической обработки и анализа экспериментальных данных получены частные уравнения регрессий (для инструментов с зернистостью 80):

– при обработке металла сварного шва стали 09Г2С

$$Q_m = 1,503 \cdot 10^{-3} \cdot V_{кр}^{1,064} \cdot P_{наг}^{1,127} \cdot K_{\phi}^{0,453} \cdot S^{0,364}, \text{ Г/МИН} \quad (2)$$

$$h = 1,254 \cdot 10^{-1} \cdot V_{кр}^{-0,216} \cdot P_{наг}^{0,904} \cdot K_{\phi}^{0,766} \cdot S^{0,189}, \text{ Г/МИН} \quad (3)$$

$$W_e = 3,95 \cdot 10^{-3} \cdot V_{кр}^{1,486} \cdot P_{наг}^{1,356} \cdot K_{\phi}^{0,689} \cdot S^{0,097}, \text{ Вт} \quad (4)$$

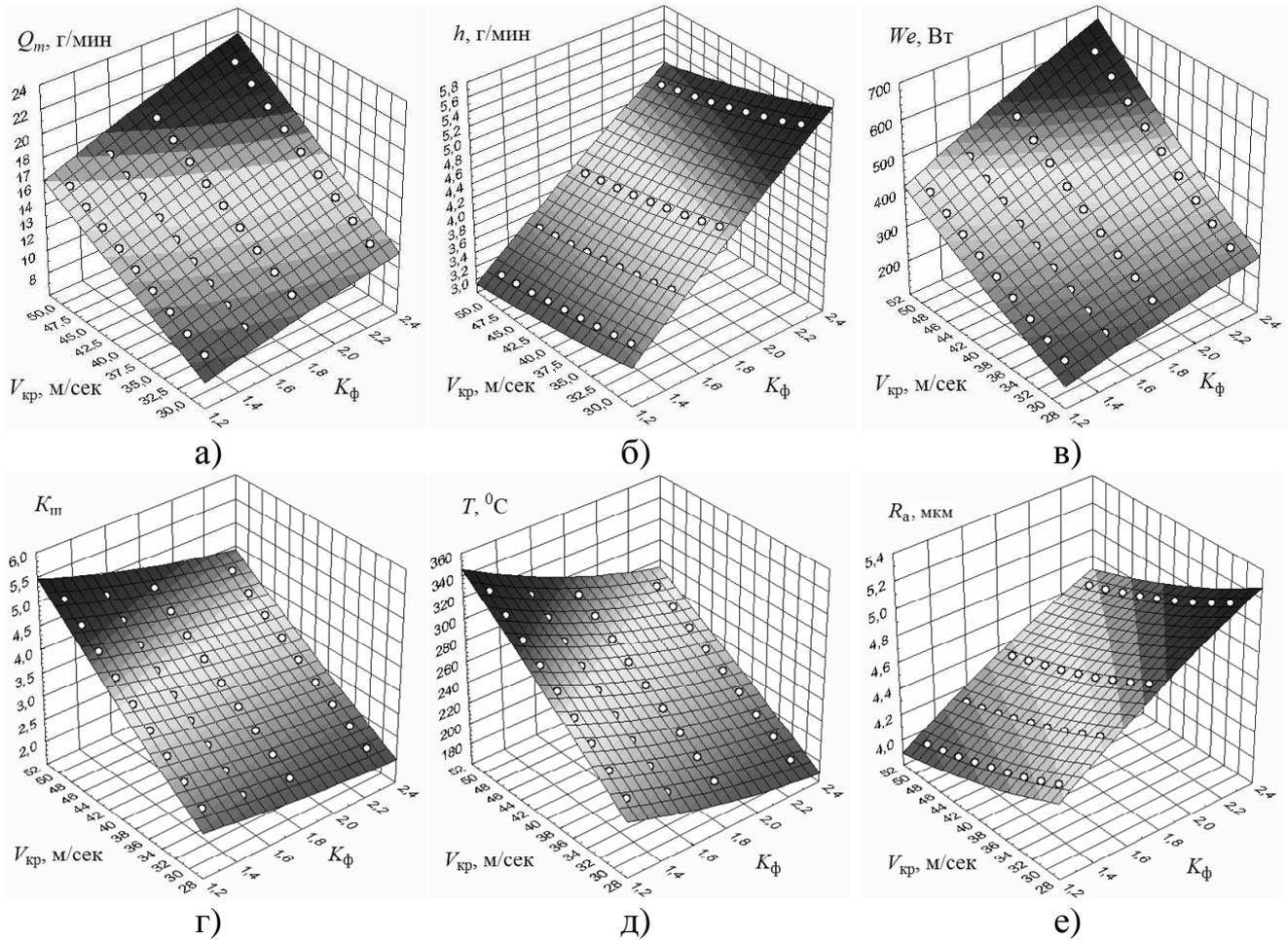


Рис. 4. Графики изменения эксплуатационных возможностей обдирочных кругов в зависимости от формы зёрен ( $K_{\phi}$ ) и режимов обработки ( $V_{кр}=30\dots 50$  м/сек,  $P_{наг}=55$  Н,  $S=3,6$  м/мин) при обработке металла сварного шва стали 09Г2С: а) режущая способность ( $Q_m$ ); б) интенсивность износа обдирочного круга ( $h$ ); в) коэффициент шлифования ( $K_{ш}$ ); г) эффективная мощность, затрачиваемая на шлифование ( $W_e$ ); д) температура в зоне резания ( $T$ , °С); е) шероховатость ( $R_a$ ) обрабатываемой поверхности

$$K_{ш} = 1,184 \cdot 10^{-2} \cdot V_{кр}^{1,282} \cdot P_{наг}^{0,226} \cdot K_{\phi}^{-0,311} \cdot S^{0,177} \quad (5)$$

$$T = 1,414 \cdot V_{кр}^{0,779} \cdot P_{наг}^{0,645} \cdot K_{\phi}^{-0,345} \cdot S^{-0,081}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$R_a = 2,034 \cdot V_{кр}^{-0,189} \cdot P_{наг}^{0,268} \cdot K_{\phi}^{0,272} \cdot S^{0,215}, \text{ мкм} \quad (7)$$

– при обработке металла сварного шва стали Ст3

$$Q_m = 9,429 \cdot 10^{-6} \cdot V_{кр}^{1,496} \cdot P_{наг}^{1,742} \cdot K_{\phi}^{0,684} \cdot S^{0,701}, \text{ г/мин} \quad (8)$$

$$h = 4,262 \cdot 10^{-2} \cdot V_{кр}^{-0,290} \cdot P_{наг}^{1,181} \cdot K_{\phi}^{0,835} \cdot S^{0,166}, \text{ г/мин} \quad (9)$$

$$W_e = 14,94 \cdot 10^{-3} \cdot V_{кр}^{1,256} \cdot P_{наг}^{1,159} \cdot K_{\phi}^{0,471} \cdot S^{0,142}, \text{ Вт} \quad (10)$$

$$K_{ш} = 2,188 \cdot 10^{-4} \cdot V_{кр}^{1,788} \cdot P_{наг}^{0,564} \cdot K_{\phi}^{-0,148} \cdot S^{0,538} \quad (11)$$

$$T = 1,628 \cdot V_{кр}^{0,771} \cdot P_{наг}^{0,659} \cdot K_{\phi}^{-0,339} \cdot S^{-0,100}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$R_a = 1,901 \cdot V_{кр}^{-0,145} \cdot P_{наг}^{0,214} \cdot K_{\phi}^{0,261} \cdot S^{0,236}, \text{ мкм} \quad (13)$$

– при обработке металла сварного шва стали 12Х18Н10Т

$$Q_m = 3,786 \cdot 10^{-8} \cdot V_{кр.}^{2,222} \cdot P_{наг.}^{2,216} \cdot K_{\phi}^{0,481} \cdot S^{0,964}, \text{ г/мин} \quad (14)$$

$$h = 5,022 \cdot 10^{-3} \cdot V_{кр.}^{-0,288} \cdot P_{наг.}^{1,572} \cdot K_{\phi}^{0,759} \cdot S^{0,441}, \text{ г/мин} \quad (15)$$

$$We = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot V_{кр.}^{1,944} \cdot P_{наг.}^{0,864} \cdot K_{\phi}^{0,227} \cdot S^{0,127}, \text{ Вт} \quad (16)$$

$$K_{ш} = 7,575 \cdot 10^{-6} \cdot V_{кр.}^{2,511} \cdot P_{наг.}^{0,645} \cdot K_{\phi}^{-0,277} \cdot S^{0,523} \quad (17)$$

$$T = 2,256 \cdot V_{кр.}^{0,756} \cdot P_{наг.}^{0,636} \cdot K_{\phi}^{-0,404} \cdot S^{-0,128}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (18)$$

$$R_a = 2,031 \cdot V_{кр.}^{-0,138} \cdot P_{наг.}^{0,165} \cdot K_{\phi}^{0,279} \cdot S^{0,228}, \text{ мкм} \quad (19)$$

Аналогичным образом построены графики и уравнения регрессии, показывающие влияние формы шлифовальных зёрен в обдирочных кругах с зернистостью 63 и режимов резания на их эксплуатационные возможности.

На рис. 5 приведены гистограммы, отражающие влияние формы шлифовальных зёрен марки 13А80 на эксплуатационные возможности экспериментальных обдирочных кругов, построенные по результатам исследований на режимах шлифования:  $V_{кр.}=46$  м/с;  $P_{наг.}=55$  Н;  $S=3,6$  м/мин;  $\tau=2$  мин.

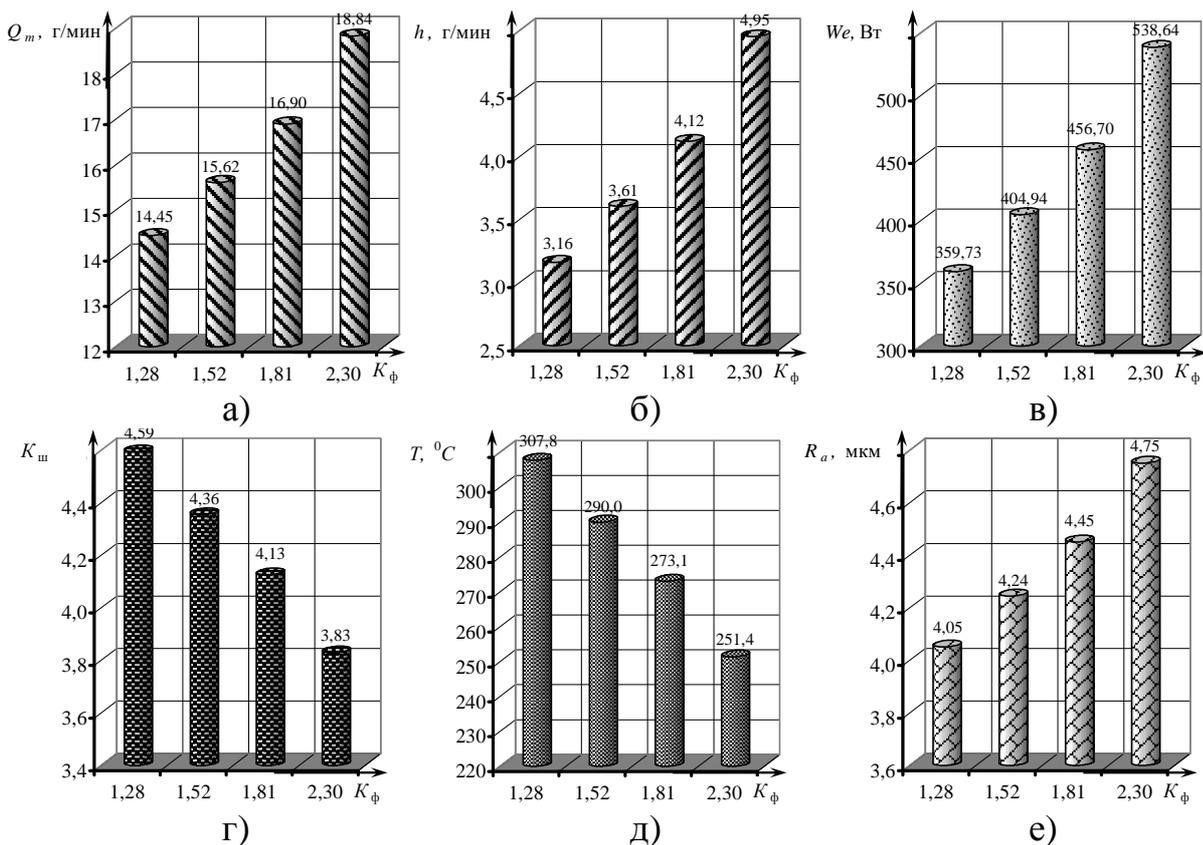


Рис. 5. Изменение эксплуатационных возможностей обдирочных кругов в зависимости от формы зёрен ( $K_{\phi}$ ) при обработке металла сварного шва стали 09Г2С на режимах резания  $V_{кр.}=46$  м/с,  $P_{наг.}=55$  Н,  $S=3,6$  м/мин: а) режущая способность ( $Q_m$ ); б) интенсивность износа обдирочного круга ( $h$ ); в) коэффициент шлифования ( $K_{ш}$ ); г) эффективная мощность, затрачиваемая на шлифование ( $We$ ); д) температура в зоне резания ( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ); е) шероховатость ( $R_a$ ) обрабатываемой поверхности

Анализ графиков и эмпирических уравнений показывает, что обдирочные круги из зёрен с большими коэффициентами формы, из-за их более острых углов и режущих кромок, активнее режут металл (в 1,11-1,21 раза лучше, чем стандартные круги в зависимости от марки обрабатываемого материала и зернистости) и, поэтому, требуют больших затрат по мощности. Вместе с тем зёрна игольчатой формы при работе интенсивней изнашиваются, приводя к снижению коэффициента шлифования этих кругов. Круги из зёрен изометрической формы (с малыми коэффициентами) изнашиваются менее интенсивно и их стойкость выше, как следствие, выше их коэффициент шлифования (в 1,05-1,22 раза по сравнению со стандартными кругами). Оценка температуры в зоне резания путем измерения хромель-копелевой термопарой на расстоянии максимально близком (и во всех случаях одинаковом) к зоне шлифования заготовок (рис. 3, б), показала, что, по мере увеличения коэффициента формы зёрен, температура в зоне резания уменьшается в 1,19-1,21 раза. При переходе от зёрен игольчатой формы ( $K_{\phi} \approx 2,30$ ) к зёрнам изометрической формы ( $K_{\phi} \approx 1,28$ ) шероховатость обработанной поверхности детали уменьшается в среднем в 1,15-1,20 раза.

Анализ измерения микротвёрдости (рис. 6) и фотографий дефектов в сварных швах после шлифования (рис. 7) показывает, что при обработке обдирочными кругами:

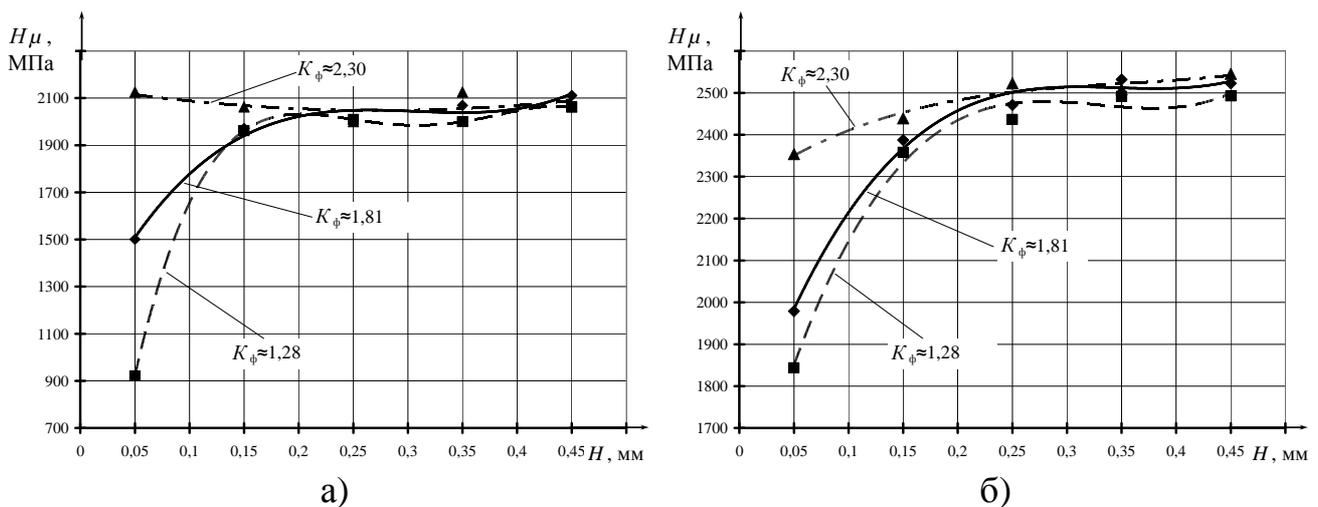


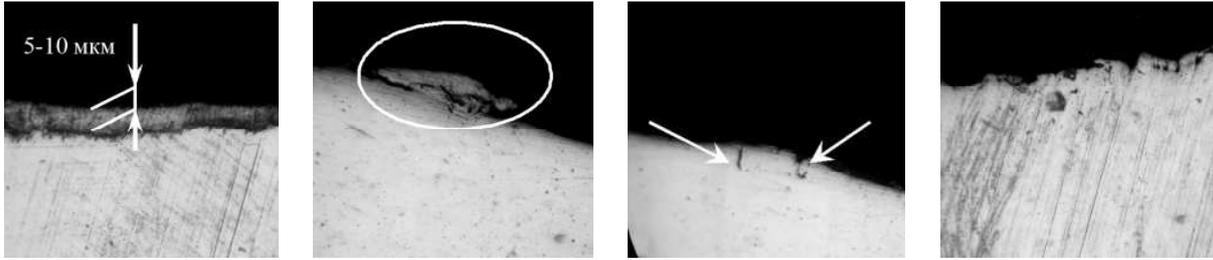
Рис. 6. Распределение микротвёрдости в поверхностных слоях заготовок из стали 09Г2С (а) и 12Х18Н10Т (б) после шлифования обдирочными кругами с разной формой зёрен

– с изометрической формой зёрен ( $K_{\phi} \approx 1,28$ ) приводит к образованию слоя термического влияния в виде окислов дефекта прижога, который имеет глубину 5-10 мкм (рис. 7, а), что вызывает снижение микротвёрдости в поверхностном слое (рис. 6);

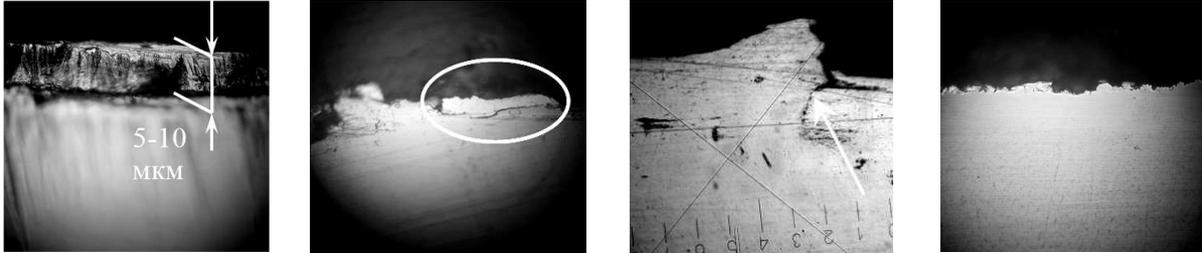
– с произвольной формой зёрен ( $K_{\phi} \approx 1,81$ ) приводит к образованию дефектов в виде отслоения и шлифовочных микротрещин (рис. 7 б, в), что сопровождается небольшим снижением микротвёрдости на глубине до 0,15 мм (рис. 6);

– с игольчатой формой зёрен ( $K_{\phi} \approx 2,30$ ) практически отсутствуют дефекты в зоне термического влияния (рис. 7, г) и не наблюдается изменений микротвёрдости в поверхностном слое заготовок (рис. 6).

## Сталь 09Г2С



## Сталь 12Х18Н10Т



а)

б)

в)

г)

Рис. 7. Макроструктура дефектов в сварных швах после шлифования обдирочными кругами с разной формой зёрен:

а)  $K_\phi=1,28$ ; б, в)  $K_\phi=1,81$ ; г)  $K_\phi=2,30$

**В пятой главе** изложены результаты исследования механических свойств заготовок, обработанных экспериментальными кругами; представлены результаты проведения сравнительных испытаний экспериментальных и стандартных обдирочных кругов разных фирм-производителей; отражены итоги производственных испытаний и внедрения экспериментальных инструментов.

Результаты по определению временного сопротивления образцов (рис. 8, а), обработанных обдирочными кругами с разной формой зёрен показывают, что повышение коэффициента формы зёрен ( $K_\phi$ ) приводит к увеличению среднего значения временного сопротивления. В свою очередь, из гистограммы (рис. 8, б) следует, что чем меньше коэффициент формы зёрен в обдирочных кругах, тем при больших углах изгиба  $\alpha$  появляются первые трещины на образцах, обработанных ими.

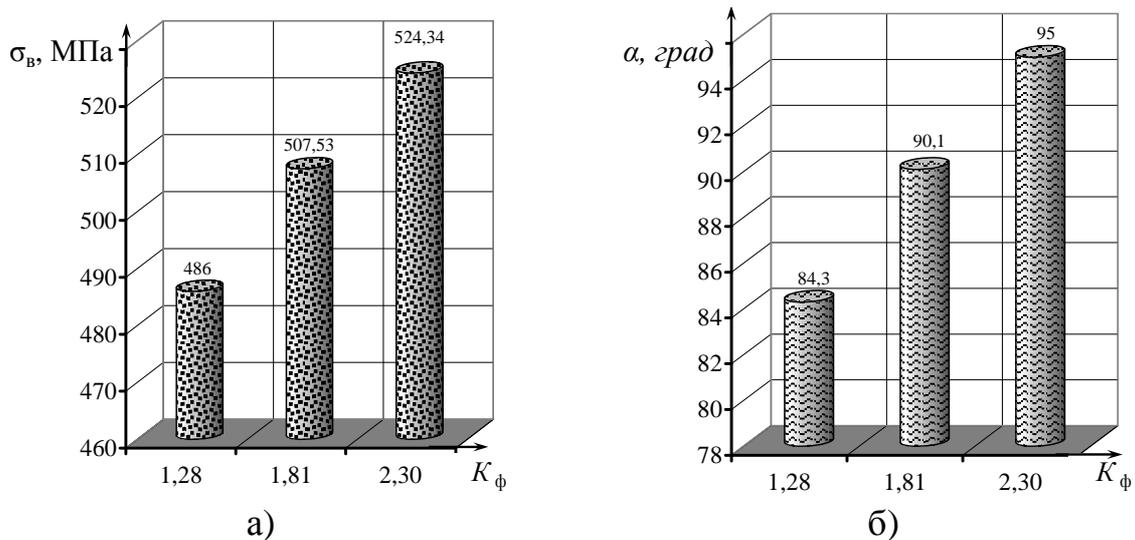


Рис. 8. Результаты по определению среднего арифметического (а) временного сопротивления образцов и (б) угла изгиба  $\alpha$  сварных образцов из стали 09Г2С, обработанных обдирочными кругами с разной формой зёрен

Для проведения сравнительных испытаний использовались экспериментальные и стандартные круги, имеющие сходную характеристику. В частности, для этих целей использовались следующие стандартные обдирочные круги: ОАО "Юргинские абразивы" (ЮАЗ) с характеристикой ПП 150×25×32 13А80 35 37 БУ; ОАО "Волжские абразивы" (дочернее предприятие «ИНВАБ») с характеристикой ПП 150×25×32 14А80 35 37 БУ; ООО "ТЕХНОМИР" с характеристикой ПП 150×25×32 14А80 СТ1 БУ.

Сравнительные испытания показали (рис. 9), что использование при изготовлении обдирочных кругов на бакелитовой связке сортированных по форме шлифовальных зёрен 13А80 игольчатой формы ( $K_{\phi} \approx 2,30$ ) повышает их режущую способность ( $Q_m$ ), в 1,1-3,0 раза в зависимости от марки обрабатываемого материала и фирм-производителей обдирочных кругов.

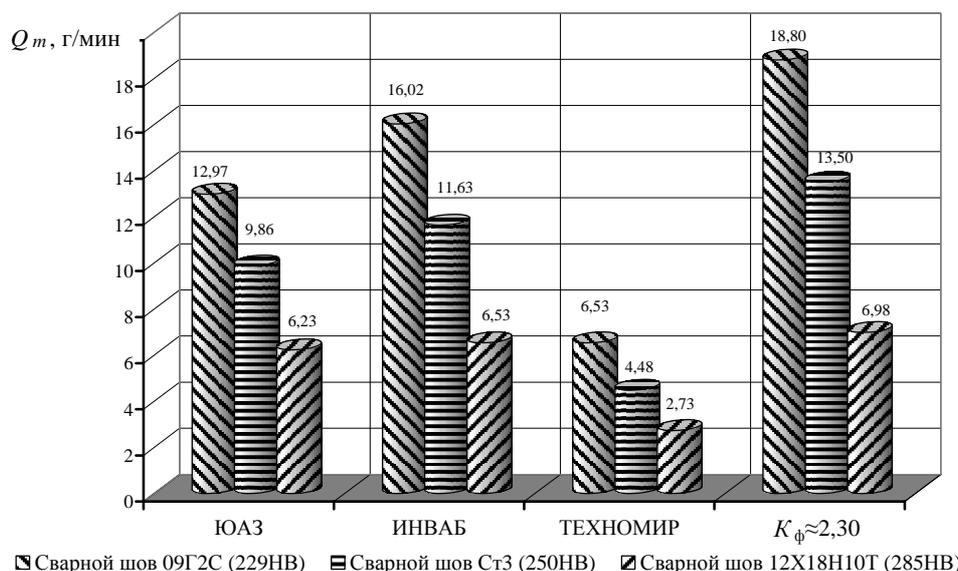


Рис. 9. Режущая способность стандартных обдирочных кругов различных фирм-производителей в сравнении с экспериментальными кругами ( $K_{\phi} \approx 2,30$ )

Экспериментальные обдирочные круги прошли производственные испытания на ряде предприятий Кемеровской области: ООО "ЭЛЕКТРОПРОМ" (г. Прокопьевск); "Кузбасская вагоностроительная компания" филиал ОАО "АЛТАЙВАГОН" (г. Кемерово); ООО фирма "ФАЛАР" (г. Кемерово). Испытания подтвердили преимущества новых инструментов по отношению к стандартным по ряду основных эксплуатационных показателей.

Положительные итоги производственных испытаний позволили рекомендовать экспериментальные круги к внедрению и внедрить их на упомянутых предприятиях.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существующие конструкции обдирочных шлифовальных кругов состоят из зёрен с произвольной формой, которая изменяется в широком диапазоне от изометрических до игольчатых разновидностей. Это снижает эксплуатационные показатели данных инструментов, так как большая часть зёрен, находящаяся в них, из-за неблагоприятной геометрии своих режущих микроклиньев, недостаточно эффективно участвует в совокупном процессе резания.

2. Разработаны новые конструкции обдирочных шлифовальных кругов из зёрен с контролируемой формой (заявка на патент РФ №2008149737), которые изготовлены (в количестве 150 шт.), испытаны в лабораторных и производственных условиях, где доказали свои преимущества по сравнению со стандартными кругами.

3. Разработаны и подобраны методики проведения лабораторных испытаний, которые позволяют всесторонне оценивать работоспособность обдирочных кругов. В том числе использована методика планирования полнофакторных экспериментов.

4. Разработан и изготовлен программно-испытательный комплекс (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006614134 РФ и свидетельство об официальной регистрации ТИМС №2007630017 РФ), подобраны необходимые измерительные приборы, обеспечивающие получение достоверных экспериментальных данных и позволяющие оценивать степень влияния различных факторов на характеристики процесса обработки обдирочными кругами.

5. Установлено, что использование зёрен игольчатой формы ( $K_{\phi} \approx 2,30$ ) в обдирочных кругах по сравнению со стандартными кругами ( $K_{\phi} \approx 1,81$ ), в зависимости от обрабатываемого материала и зернистости, позволяет: повысить их режущую способность в 1,11-1,21 раза; снизить температуру резания в 1,07-1,10 раза; снизить или предотвратить возможность появления при шлифовании сварных швов дефектов в виде прижогов, отслоения металла и микротрещин. При использовании в обдирочных кругах изометрической формы зёрен ( $K_{\phi} \approx 1,28$ ) по сравнению со стандартными кругами в зависимости от обрабатываемого материала и зернистости становится возможным: снизить интенсивность износа обдирочных кругов в 1,30-1,52 раза; повысить их коэффициент шлифования в 1,05-1,22 раза; снизить эффективную мощность, затрачиваемую на шлифование в 1,08-1,28 раза; уменьшить шероховатость обработанной поверхности детали в 1,08-1,11 раза.

6. Математические модели, выведенные по результатам экспериментов, позволяют прогнозировать и целенаправленно формировать требуемые эксплуатационные показатели обдирочных кругов в соответствии с заданной производительностью и качеством обработки деталей путем варьирования формой зёрен.

7. Сравнительные испытания показали, что использование в конструкциях обдирочных кругов зёрен с контролируемой формой позволяет значительно повысить их эксплуатационные возможности по отношению к стандартным кругам. Причем, выбор той или иной формы зёрен следует увязывать с конкретной задачей. Если на первом плане стоит производительность шлифования, снижение температуры резания, уменьшение приповерхностных дефектов металла сварного шва и улучшение механических свойств обрабатываемых заготовок (сварных конструкций), то целесообразно использовать зёрна игольчатых (пластинчатых) разновидностей ( $K_{\phi} \approx 2,30$ ). Если же более важны факторы уменьшения износа круга, снижения мощности, затрачиваемой на шлифование и уменьшения шероховатости обработки, то предпочтительнее выбирать зёрна изометрической формы ( $K_{\phi} \approx 1,28$ ).

8. Экспериментальные обдирочные круги прошли производственные испытания и внедрены в технологический процесс на операциях зачистки сварных швов на ООО "ЭЛЕКТРОПРОМ" г. Прокопьевск, в "Кузбасской вагоностроительной компании" (филиала ОАО "Алтайвагон") г. Кемерово, на ООО фирма

"ФАЛАР" г. Кемерово, где подтвердили преимущества их использования по сравнению со стандартными инструментами.

9. Результаты научных исследований и оборудование, входящее в состав разработанного испытательного комплекса, внедрены также в учебный процесс на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» ГУ КузГТУ.

### **Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:**

#### **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние режимов шлифования на эффективность работы обдирочных шлифовальных кругов для ручных машин // Обработка металлов. –2006.–№2 (34).– С.26.

2. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние формы шлифовальных зёрен обдирочных кругов на теплонапряженность процесса шлифования // Обработка металлов. –2007.–№1 (34).– С.14.

3. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние формы шлифовальных зёрен обдирочных кругов на эффективную мощность шлифования // Обработка металлов. –2007.–№2 (35).– С.30.

4. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Снижение дефектов в сварных швах при обдирочном шлифовании // Обработка металлов. –2007.–№4 (37).– С.24.

5. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Повышение работоспособности обдирочных кругов на операциях обработки сварных швов путем использования шлифовальных зёрен с контролируемой формой // Сборка в машиностроении, приборостроении. –2008.–№1 (90).– С.20.

#### **В других работах:**

6. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Анализ методов обработки сварных швов // Обработка металлов. –2004.–№2 (31).– С.23.

7. Дубинкин Д.М., Крёков О.А. Экспериментальная установка для оценки работоспособности обдирочных шлифовальных кругов для ручных машин / Д.М. Дубинкин, О.А. Крёков, С.Ю. Кадралеев, В.А. Коваленко // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета. Доклады 51-й научно-практической конференции, 17-21 апр. 2006 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. С. 167-170.

8. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние условий обработки на интенсивность износа обдирочных шлифовальных кругов для ручных машин // Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Матер. Всеросс. науч. практич. конф. 21-23.09.2006 – Бийск: Изд-во Алт. Гос.техн.ун-та, 2006. – С.56–58.

9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006614134 РФ. WaveAnalizator / Д.М. Дубинкин, А.А. Язьков. - №2006613319; Заявлено 03.09.06.; Опубл. 01.12.06.

10. Свидетельство об официальной регистрации топологии интегральной микросхемы №2007630017 РФ. «Частотно-амплитудный преобразователь» / Д.М. Дубинкин, И.А. Кояхов. - №2007630004; Заявлено 05.01.07.; Опубл. 28.03.07.

11. Дубинкин Д.М. Влияние формы шлифовальных зёрен на интенсивность износа обдирочных кругов // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов

Кузбасского государственного технического университета. Доклады 52-й научно-практической конференции, 16-20 апр. 2007 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007. С. 210-212.

12. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние формы шлифовальных зёрен на производительность обдирочных кругов // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: Труды V-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 14-15 сентября 2007 г. – ЮТИ ТПУ, Юрга: Изд. ТПУ, 2007. – С. 278-283.

13. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Повышение работоспособности обдирочных кругов за счет использования шлифовальных зёрен с контролируемой формой // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Доклады (материалы) 13-й Международной научно-практической конференции. г. Кемерово, 1-3 октяб. 2007 г. – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2007. С. 61-64.

14. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Влияние формы шлифовальных зёрен обдирочных кругов на шероховатость обработанной поверхности сварных швов // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса: Труды I-й Всероссийская научно-практической конференции, 24-25 октяб. 2007 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007. С. 206-210.

15. Короткова Л.П., Дубинкин Д.М. Оценка качества обдирочного шлифования сварных швов // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: Труды VII-й Международной научно-практической конференции, 15-16 нояб. 2007 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007. С. 138-144.

16. Дубинкин Д.М., Бондаревич А.Н. Влияние формы шлифовальных зёрен на поверхностные дефекты в сварных швах при обдирочном шлифовании / Д.М. Дубинкин, А.Н. Бондаревич, Р.А. Степанов // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета. Доклады 53-й научно-практической конференции, 14-18 апр. 2008 г. / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008. С. 182-185.

17. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Сравнительные испытания обдирочных кругов // Обработка металлов. –2008.–№2 (34).– С.4.

18. Коротков А.Н., Дубинкин Д.М. Исследование механических свойств сварных соединений обработанных обдирочными кругами с контролируемой формой зёрен // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении. В 2 т. Том 2: Материалы IV-й международной научно-практической конференции, 9-11 декаб. 2008 г. – Тюмень: Изд. «Вектор Бук», 2008, С. 124 – 129.

---

Подписано в печать \_\_.\_\_.2009 Формат 60×84/16

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч.-изд. л. \_\_. Тираж \_\_ экз. Заказ \_\_.

ГУ КузГТУ. 650026, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография ГУ КузГТУ. 650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4 а.