

ЛЮКШИН ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЛЕНТ  
ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРЕН С КОНТРОЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ  
И ОРИЕНТАЦИЕЙ**

Специальность

05.03.01 Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск 2007

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

Научный руководитель

доктор технических наук,  
профессор Коротков А.Н.

Официальные оппоненты

доктор технических наук,  
профессор Кольцов В.П.

кандидат технических наук,  
доцент Моховиков А.А.

Ведущая организация

ООО Инженерный Центр «АСИ»  
г. Кемерово

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2007г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.01 Томского политехнического университета по адресу: Россия, 634034, г. Томск, пр. Ленина 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» декабря 2006 г.

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

Костюченко Т.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы.**

Ленточное шлифование получило большое распространение в различных областях машиностроения. Преимуществами этого вида обработки являются постоянство скорости резания, эластичность и упругость инструмента, возможность обработки обширных поверхностей деталей.

Вместе с тем, использование шлифовальных лент показывает, что эффективность их применения относительно невысока. Одна из основных причин, обуславливающих такой результат, состоит в том, что ленты изготавливаются из шлифовальных зерен с произвольной формой и (как правило) хаотичным расположением на поверхности основы. В результате многие зерна, из-за неблагоприятной геометрии их режущих микроклиньев, слабо либо вообще никак не участвуют в совокупном процессе резания. Известны попытки улучшить эту ситуацию путем ориентации зерен их длинной осью перпендикулярно основе с помощью электростатики. Эффект, как показывает практика, весьма положительный. Но этот подход обеспечивает лишь частичное решение проблемы, поскольку второй фактор, формирующий геометрию режущего клина зерна, т.е. его форма, остается неуправляемым. Задействовав этот фактор и целенаправленно варьируя им, в сочетании с приданием зернам определенной ориентации, можно добиться большего эффекта от использования каждого единичного зерна, находящегося на поверхности шлифовальной ленты. Поэтому задача по повышению работоспособности шлифовальных лент за счет одновременного контроля формы и ориентации зерен является актуальной.

**Цель диссертационной работы** заключается в повышении работоспособности шлифовальных лент путем использования зерен с контролируемой формой и ориентацией.

**Методики исследований:** Работа базируется на основных положениях теории шлифования, теории сепарации сыпучих масс, теории прочности хрупких материалов и теории статистического моделирования. Экспериментальные

исследования выполнялись в лабораторных и производственных условиях с использованием современной измерительной аппаратуры. Для обработки полученных данных использовались статистические методы с привлечением ЭВМ.

**Научная новизна работы** состоит в:

- разработке концепции создания новых конструкций шлифовальных лент из зерен с контролируемой формой и заданной ориентацией;
- модификации метода количественной оценки формы зерен с помощью коэффициента формы и ЭВМ;
- установлении влияния формы и ориентации единичных зерен на их ударную прочность и режущую способность, получении математических моделей, описывающих данную взаимосвязь;
- установлении влияния формы и угла ориентации совокупности шлифовальных зерен, находящихся на поверхности шлифовальной ленты, на режущую способность и износ этого инструмента, температуру в зоне резания, мощность, затрачиваемую на резание, шероховатость обработанной поверхности;
- разработке статистических моделей, отражающих влияние формы и ориентации зерен на эксплуатационные характеристики лент и позволяющих прогнозировать работоспособность лент в зависимости от этих факторов.

**Практическая ценность работы** заключается в:

- разработке программы по оценке формы шлифовальных зерен с помощью ЭВМ (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227);
- разработке устройства, позволяющего исследовать влияние формы и ориентации единичного шлифовального зерна на его ударную прочность (патент на полезную модель РФ №38505);
- разработке новой конструкции сепаратора по разделению шлифовальных зерен по признаку формы (патент на изобретение РФ №2236303);
- разработке способа изготовления принципиально новых конструкций шлифовальных лент (патент на изобретение РФ №2250817);

- разработке компактной линии для производства экспериментальных образцов шлифовальных лент и термокамеры для их сушки;
- изготовлении опытной партии новых шлифовальных лент из зерен с контролируемой формой и заданной ориентацией, доказавших свои преимущества в лабораторных и производственных условиях;
- практических рекомендациях по применению лент с контролируемой формой и ориентацией шлифовальных зерен, позволяющих более эффективно и рационально использовать возможности этих инструментов.

**Реализация результатов работы.** Опытные образцы шлифовальных лент внедрены на ООО Завод «Победит» (г. Киселевск), ООО «ЦАРМ» (г. Кемерово).

**Апробация работы.** Основные положения работы доложены и обсуждены на I-й Региональной научно-практической конференции «Потенциальные возможности региона Сибири и проблемы современного сельскохозяйственного производства» (г. Кемерово, 2002г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении» (г. Томск, 2002г.), на III-й Всероссийской научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (г. Бийск, 2003г.), на Всероссийских научно-практических конференциях «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе» (г. Новосибирск, 2004, 2006 гг.), где по результатам конференции (2006г.) был получен Диплом за лучшую научно-исследовательскую работу, на Региональном конкурсе «Инновации и изобретения года» (г. Кемерово, 2005г.). По итогам данного конкурса за инновацию «Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен» получен Диплом II степени. Результаты диссертационной работы обсуждались также на научных семинарах кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ, в период с 2001 по 2006 гг., на научном семинаре факультета технологии и компьютеризации машиностроения ИрГТУ (2006 г.), на кафедре «Технология машиностроения» Юргинского технологического института ТПУ и на техсовете ООО Инженерный Центр «АСИ» (Кемерово).

во, 2006 г.). Отдельные части работы докладывались на семинарах кафедры «Станкостроение» ТУ Кемнитц (Германия) и на заводе по производству шлифовальных инструментов «Rottluff» (Германия) во время прохождения там научных стажировок (1999 г. и 2002 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ, в числе которых 3 патента РФ и 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 173 страницах машинописного текста, содержит 88 рисунков, 12 таблиц, список литературы из 183 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, кратко изложено содержание разделов, сформулированы цель, научная новизна и практическая ценность.

**В первой главе** приведен обзор характеристик шлифовальных лент и отражен анализ данных, посвященных повышению их работоспособности.

Рассмотрены известные методы повышения работоспособности лент, анализ, которых говорит о том, что радикальный путь повышения работоспособности этих инструментов – это разработка их более совершенных конструкций.

Исходя из специфики эксплуатации ленты следует, что наибольшее влияние на ее работоспособность оказывают шлифовальные зерна, т.к. именно они являются главными участниками процесса резания. Между тем известно, что зерна далеко не полностью используют свои потенциальные возможности. Одна из основных причин низкой эффективности работы зерен в ленте состоит в том, что они имеют произвольную форму и расположение, как следствие, непредсказуемую и часто неблагоприятную для резания геометрию.

Анализ литературы показал наличие определенного задела по вопросу ориентации зерен на поверхности основы лент (с помощью электростатики). Влия-

ние же формы зерен, а тем более, совместное влияние формы и ориентации зерен на эффективность ленточного шлифования практически не освещено.

По итогам анализа была намечена цель работы и сформулированы задачи исследований.

**Вторая глава** посвящена анализу влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на режущую способность шлифовальных лент.

Вопросы исследования формы и геометрии зерна, в большей или меньшей степени, затрагиваются в работах, опубликованных Масловым Е.Н., Ваксером Д.Б., Коротковым А.Н., Резниковым А.Н., Opitz H., Brückner K. и др.

В данной работе форму зерна предлагается оценивать количественным методом с помощью коэффициента формы ( $K_\phi$ ), который определяется как отношение площади описанной вокруг проекции зерна окружности ( $S_{o.o.}$ ) к площади проекции зерна ( $S_{n.z.}$ ):  $K_\phi = S_{o.o.} / S_{n.z.}$

В рамках подготовки данной диссертации была разработана программа для ЭВМ (Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227), в основу которой была положена указанная выше трактовка параметра  $K_\phi$ . С ее помощью была проведена оценка разновидностей форм зерен производства ОАО «Юргинские абразивы» и производства Германии.

Анализ полученных результатов показал, что:

- распределение зерен по форме зависит от марки, технологии изготовления и зернистости абразива;
- основная масса зерен, находится в диапазоне  $K_\phi = 1,34 \div 2,19$  и имеет, так называемую, промежуточную форму, остальные зерна имеют изометрическую ( $K_\phi = 1,0 \div 1,34$ ) и пластинчатую ( $K_\phi = 2,19 - 2,7$ ) форму.

Такой широкий разброс форм зерен не может не сказаться на работоспособности каждого из них, т.к. разница в форме зерен предопределяет возникновение различий в их геометрии, а, значит, и в способности срезать стружку.

Очевидно, что на формирование геометрии каждого зерна, наряду с его формой, влияет также и его конкретное расположение на поверхности ленты.

Логично предположить, что, если сложить и целенаправленно задейство-

вать оба фактора, определяющих геометрию зерен, т.е. форму и ориентацию, то может быть получен значительный эффект.

**Третья глава** посвящена исследованию режущей способности и прочности единичных шлифовальных зерен с различной формой и ориентацией.

Эксперименты по определению режущей способности единичных зерен проводились на плоскошлифовальном станке модели 3Г71, на шпинделе которого фиксировался диск с закрепленным зерном, на следующих режимах резания: скорость вращения диска  $V=30$  м/с; продольная подача  $S=0,19$  м/мин; глубина резания  $t=0,04$  мм.

Для проведения испытаний были отобраны зерна 13A125 (ОАО «Юргинские абразивы») изометрической ( $K_\phi \approx 1,14$ ), промежуточной ( $K_\phi \approx 1,56$ ) и пластинчатой форм ( $K_\phi \approx 2,27$ ), которые поочередно и поштучно крепились в металлическом диске, имитирующем шлифовальный инструмент.

Угол ориентации ( $\gamma$ ) шлифовальных зерен в диске изменялся как в направлении резания от  $0^\circ$  до  $+90^\circ$ , так и в обратную сторону от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$ .

В качестве обрабатываемых деталей использовались прямоугольные образцы с размерами  $L \times V \times H = 30 \times 20 \times 10$  мм из стали Ст3 (НВ 111).

Число проходов (в одну сторону) составляло во всех случаях  $N=20$ .

Результаты экспериментов представлены на рис. 1 и они показывают, что:

- единичные зерна пластинчатой формы ( $K_\phi \approx 2,27$ ) обладают наибольшей режущей способностью, а зерна изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ) – наименьшей;
- угол ориентации единичных абразивных зерен, при котором режущая способность наибольшая, колеблется от  $60^\circ$  до  $90^\circ$ .

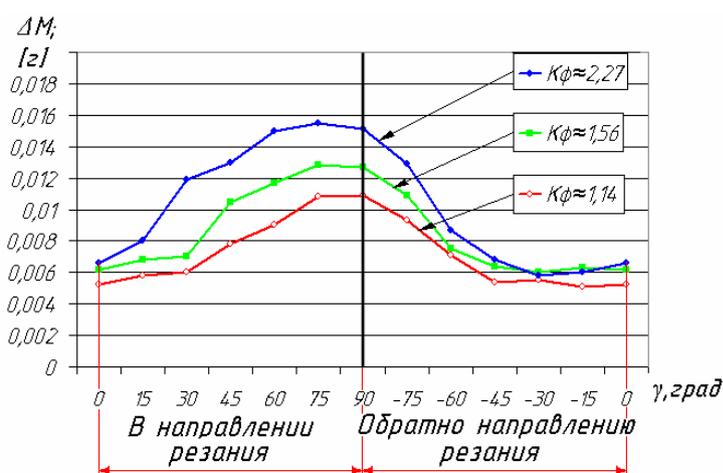


Рис. 1 Влияние формы и угла ориентации единичных шлифовальных зерен на их режущую способность

Таким образом, из полученных результатов следует, что для повышения режущей способности шлифовальных лент целесообразно использовать зерна пластинчатой формы с углом ориентации порядка  $\gamma=75^\circ$ .

При изучении картин напряжений в моделях отдельных зерен с разной формой, полученных методом конечных элементов при помощи программы «MSC/NASTRAN», были сделаны следующие выводы:

- зерна, которые воспринимают нагрузку заостренными участками, имеют максимальные напряжения вблизи своих вершин, что, способствует откалыванию небольших частиц и, соответственно, самозатачиванию;
- зерна, которые воспринимают нагрузку плоскими участками, имеют максимальные напряжения вблизи мест их заделки в связку, что способствует выламыванию их из связки;
- особенностью нагружения сферической модели является точечный характер приложения нагрузки, что может привести как к вырыву зерна из связки, при достаточно большом усилии, так и к разрушению самого зерна.

Таким образом, результаты моделирования показали, что форма зерен и их ориентация на основе влияют на уровень возникающих в них при работе напряжений, а, значит, и на их прочность.

Для практической оценки ударной прочности единичных шлифовальных зерен с разной формой был использован метод испытаний качающимся грузом. С этой целью в ходе выполнения данной работы было сконструировано устройство, на которое получен патент на полезную модель РФ №38505. На рис. 2 представлена схема устройства.

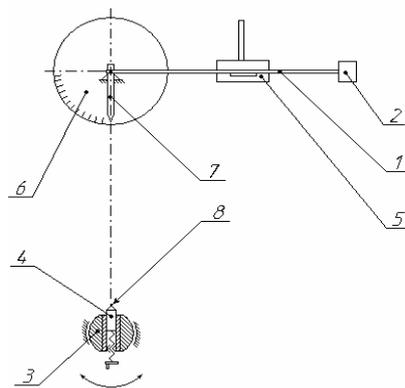


Рис. 2 Схема устройства для определения ударной прочности единичных шлифовальных зерен с разной формой

Для проведения испытаний с помощью данного устройства использовался нормальный электрокорунд марки 13А с номерами зернистости 125, 100, 80 производства ОАО «Юргинские абразивы», а также нормальный электрокорунд

марки NK F24 (Германия) с номером зернистости 80. Зерна имели изометрическую ( $K_\phi \approx 1,14$ ), промежуточную ( $K_\phi \approx 1,56$ ) и пластинчатую форму ( $K_\phi \approx 2,27$ ). Угол наклона ( $\gamma$ ) зерен по отношению к горизонтальной плоскости принимался равным  $90^\circ$ ,  $75^\circ$  и  $60^\circ$  (в направлении удара).

Анализ полученных результатов проводился при помощи программного пакета «STATISTICA 6.0». На основании данного программного обеспечения исследовалась взаимосвязь между ударной прочностью ( $a$ ) и параметрами единичного шлифовального зерна ( $K_\phi, \gamma$ ) в виде:  $\ln a = a_0 + a_1 \cdot \ln K_\phi + a_2 \cdot \ln \gamma$ .

Полученные модели, отражающие влияние формы единичных шлифовальных зерен и угла их ориентации на ударную прочность, выглядят следующим образом: для зерна 13A125:  $\ln a = 3,803 - 0,753 \cdot \ln K_\phi - 0,29 \cdot \ln \gamma$ ;

для зерна 13A100:  $\ln a = 4,236 - 0,713 \cdot \ln K_\phi - 0,299 \cdot \ln \gamma$ ;

для зерна 13A80:  $\ln a = 3,464 - 0,518 \cdot \ln K_\phi - 0,297 \cdot \ln \gamma$ ;

для зерна NK F24:  $\ln a = 3,226 - 0,382 \cdot \ln K_\phi - 0,233 \cdot \ln \gamma$ .

Данные результаты в целом подтверждают проведенный ранее модельный эксперимент. Они говорят, в частности, о том, что с увеличением  $K_\phi$  и  $\gamma$  (от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ) ударная прочность единичных шлифовальных зерен снижается.

**Четвертая глава** посвящена анализу технологии изготовления шлифовальной шкурки. В ней приведено также описание опытного оборудования для сепарации шлифовальных зерен по форме и описана компактная линия и термокамера для изготовления и сушки экспериментальных образцов шлифовальных лент в лабораторных условиях.

При анализе методов сепарации частиц по признаку формы было установлено, что всем им, в той или иной мере, присущ ряд недостатков. Поэтому в данной диссертации была поставлена задача – разработать более совершенную конструкцию сепаратора, который отвечал бы следующим требованиям: обладал высокой производительностью; имел постоянство характеристик конструктивных элементов, отвечающих за разделение частиц; был достаточно прост по конструкции и надежен в эксплуатации.



Целью проводимых экспериментов было комплексное исследование эксплуатационных параметров экспериментальных шлифовальных лент и нахождение таких условий эксплуатации и параметров лент, которые позволили бы максимально повысить эффективность ленточного шлифования.

В частности, исследовались следующие эксплуатационные параметры шлифовальных лент и параметров процесса шлифования: режущая способность ( $Q$ ) и износ ( $h$ ) лент, температура в зоне резания ( $T$ ), мощность, затрачиваемая на резание ( $We$ ), шероховатость обработанной поверхности ( $Ra$ ).

Исследования проводились на образцах из сталей Ст3 (НВ 111), ШХ15 (HRC 63) и 20X13 (HRC 26).

Опытным путем были определены условия проведения экспериментов, которые оставались постоянными в ходе всех дальнейших исследований. В частности: скорость резания ( $V$ ) составляла – 30 м/с; нагрузка на обрабатываемый образец ( $N$ ) – 20Н; время эксперимента ( $t$ ) – 5 мин (для сталей Ст3 и 20X13) и 10 мин (для стали ШХ15).

Для проведения исследований использовались образцы опытной шлифовальной ленты с характеристикой : 2О 408x20 С2 13А 40 Н ( $K_\phi$ ,  $\gamma$ ) СФЖ (в скобках указаны изменяемые параметры – форма зерен ( $K_\phi$ ) и угол их наклона ( $\gamma$ )) и образцы стандартной ленты с характеристикой 2О 408x20 С2 13А 40 Н СФЖ ГОСТ 13344-79 (в целях обеспечения чистоты экспериментов стандартная лента тоже изготавливалась на описанной ранее компактной линии (рис. 4) и в тех же условиях, что и опытные образцы лент).

Для построения математических моделей по результатам проведенных экспериментов использовался программный пакет «STATISTICA 6.0». При выборе адекватной модели исследовались следующие виды зависимостей: линей-

ная  $y_i = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i$ ; логарифмическая  $y_i = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot \ln x_i$ ; экспоненциальная

$$y_i = \exp\left(b_0 + \sum_{i=1}^n x_i\right).$$

Модели строились с учетом граничных условий выбранных перед прове-

дением экспериментов для шлифовальных зерен с коэффициентами формы  $K_\phi=1,14\div 2,27$  и углом наклона зерен относительно основы  $\gamma=75^\circ\div 90^\circ$ .

Полученные модели сравнивались по коэффициенту корреляции и в качестве адекватной принималась та модель, для которой этот коэффициент был максимальным.

**Шестая глава** посвящена оценке влияния формы и ориентации зерен на работоспособность шлифовальных лент.

Анализ полученных результатов показывает, что режущая способность экспериментальных лент с пластинчатыми зернами ( $K_\phi \approx 2,27$ ) и углом ориентации  $\gamma=75^\circ$  во всех случаях выше аналогичного параметра для других лент. Данный тип ленты превосходит стандартную ленту (ГОСТ) по режущей способности на 30÷40% (рис.5).

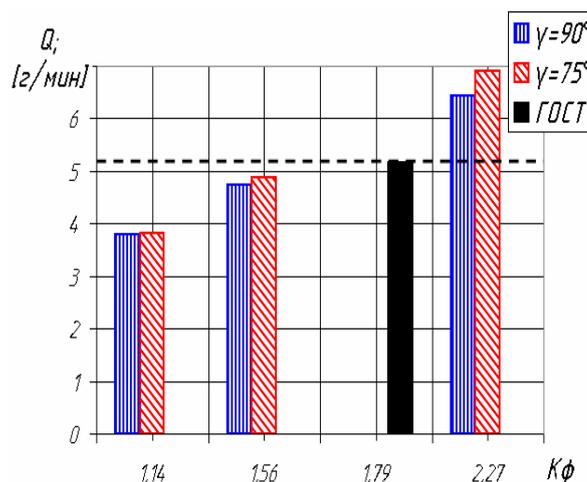


Рис. 5 Влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на режущую способность шлифовальных лент; сталь Ст3

Для лент, содержащих зерна изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ), этот параметр ниже, чем у стандартной ленты (ГОСТ) на 25÷30%.

Аналогичные по характеру результаты были получены также при обработке сталей 20X13 и ШХ15.

Обработка полученных результатов на ЭВМ показала, что они наиболее точно описываются экспоненциальными зависимостями:

- для стали Ст3:  $Q = \exp^{(2,0262+0,463 \cdot K_\phi - 0,0003 \cdot \gamma - 0,3443 \cdot t)}$ ;
- для стали ШХ15:  $Q = \exp^{(0,8712+0,2728 \cdot K_\phi - 0,0021 \cdot \gamma - 0,0831 \cdot t)}$ ;
- для стали 20X13:  $Q = \exp^{(1,6377+0,5391 \cdot K_\phi - 0,0028 \cdot \gamma - 0,2735 \cdot t)}$ .

где  $t$  – время обработки.

Результаты исследования износа лент (весовым методом) показывают, что

износ экспериментальных лент с изометрическими зернами ( $K_\phi \approx 1,14$ ) всегда ниже, чем износ лент с другими разновидностями форм зерен. Данный тип лент имеет меньший износ по сравнению со стандартной лентой (ГОСТ) в 1,3–1,4 раза (рис. 6).

Лентам, содержащим зерна пластинчатой формы ( $K_\phi \approx 2,27$ ) и с ориентацией  $\gamma=75^\circ$  свойственен повышенный износ. Он выше, в данном случае, чем у стандартной ленты (ГОСТ) в среднем на 35%.

Полученные результаты с достаточной точностью описываются экспоненциальными зависимостями:

- для стали Ст3:  $h = \exp^{(-2,3713+0,5388 \cdot K_\phi - 0,0038 \cdot \gamma - 0,7904 \cdot t)}$ ;
- для стали ШХ15:  $h = \exp^{(-2,9162+0,6269 \cdot K_\phi - 0,0048 \cdot \gamma - 0,4863 \cdot t)}$ ;
- для стали 20Х13:  $h = \exp^{(-1,5416+0,5369 \cdot K_\phi - 0,0064 \cdot \gamma - 0,3251 \cdot t)}$ .

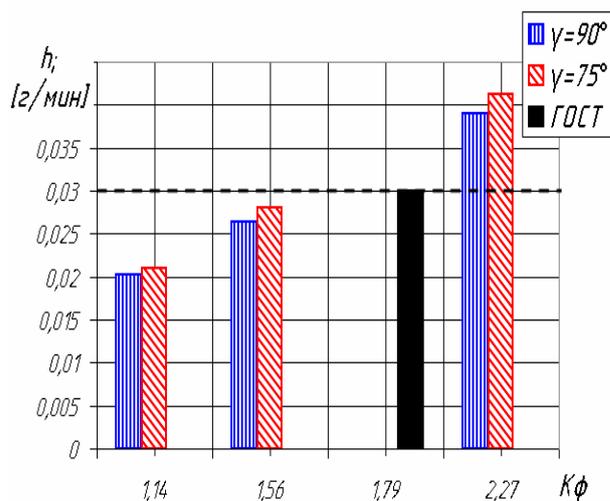


Рис. 6 Влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на износ шлифовальных лент; сталь Ст3

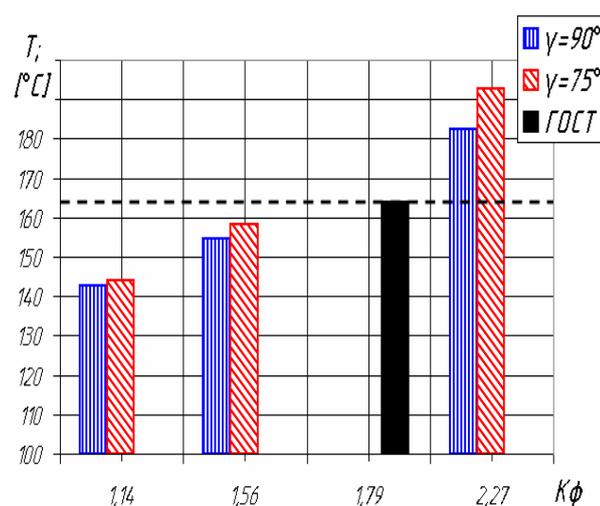


Рис. 7 Влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на температуру в зоне резания; сталь Ст3

При исследовании температуры резания (с помощью искусственной закладной термопары), при шлифовании лентами с разной формой и ориентацией зерен, установлено, что температура в зоне резания при работе экспериментальными шлифовальными лентами с пластинчатыми зернами ( $K_\phi \approx 2,27$ ) выше температуры в зоне резания стандартной лентой (ГОСТ) на 11÷15%, а с зернами изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ) – ниже на 10÷13% (рис.7).

Полученные результаты с достаточной точностью описываются экспоненциальными зависимостями:

- для стали Ст3:  $T = \exp^{(4,9418+0,2651 \cdot K_\phi - 0,0023 \cdot \gamma - 0,0412 \cdot t)}$ ;
- для стали ШХ15:  $T = \exp^{(4,9211+0,163 \cdot K_\phi - 0,0011 \cdot \gamma - 0,035 \cdot t)}$ ;
- для стали 20Х13:  $T = \exp^{(4,9159+0,233 \cdot K_\phi - 0,0018 \cdot \gamma - 0,0325 \cdot t)}$ .

Исследование мощности, затрачиваемой на резание, при работе лентами с разной формой и ориентацией зерен говорит о том, что для экспериментальных шлифовальных лент с пластинчатыми зернами ( $K_\phi \approx 2,27$ ) этот параметр выше мощности, затрачиваемой на резание стандартной лентой (ГОСТ), на 20÷30%, а для лент с зернами изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ) – ниже на 15÷25% (Рис 8).

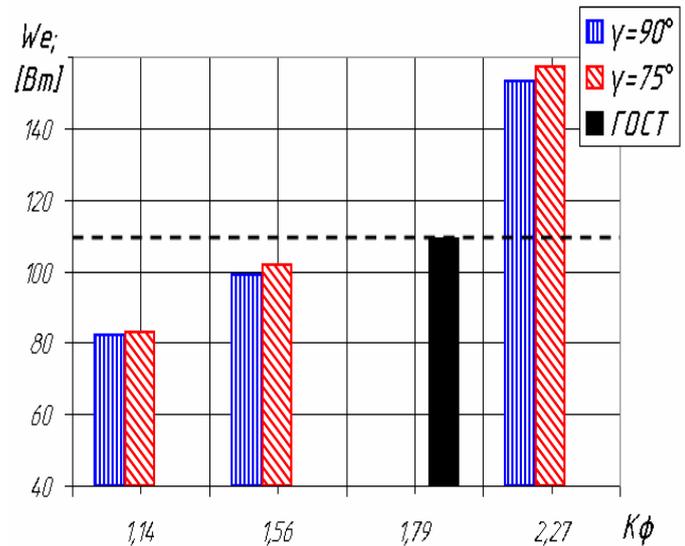


Рис. 8 Влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на мощность, затрачиваемую на резание; сталь Ст3

Полученные результаты с достаточной точностью описываются линейными зависимостями:

- для стали Ст3:  $We = 78,0385 + 65,188 \cdot K_\phi - 0,1822 \cdot \gamma - 19,4333 \cdot t$ ;
- для стали ШХ15:  $We = 67,1958 + 12,2561 \cdot K_\phi - 0,0489 \cdot \gamma - 6,483 \cdot t$ ;
- для стали 20Х13:  $We = 94,8593 + 54,4712 \cdot K_\phi - 0,3156 \cdot \gamma - 18,3 \cdot t$ .

Исследование шероховатости поверхностей деталей после обработки лентами с разной формой и ориентацией зерен показывает, что шероховатость поверхности, получаемая экспериментальными лентами с пластинчатыми зернами ( $K_\phi \approx 2,27$ ) выше шероховатости, получаемой стандартной лентой (ГОСТ) на 20÷30%, а с зернами изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ) – ниже на 15÷20% (рис. 9).

Полученные результаты с достаточной точностью описываются экспоненциальными зависимостями:

- для стали Ст3:  $Ra = \exp^{(1,011+0,3353 \cdot K_{\phi} - 0,0009 \cdot \gamma - 0,0246 \cdot t)}$ ;
- для стали ШХ15:  $Ra = \exp^{(0,5482+0,3856 \cdot K_{\phi} - 0,0017 \cdot \gamma - 0,0228 \cdot t)}$ ;
- для стали 20Х13:  $Ra = \exp^{(1,033+0,3305 \cdot K_{\phi} - 0,001 \cdot \gamma - 0,0244 \cdot t)}$ .

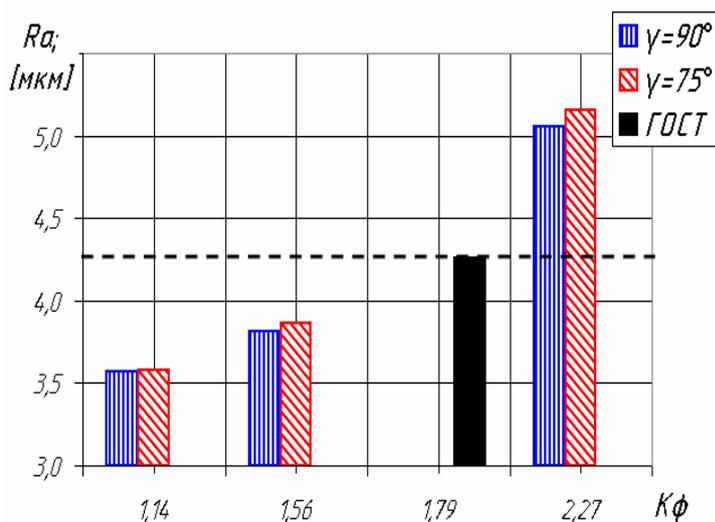


Рис. 9 Влияния формы и ориентации шлифовальных зерен на шероховатость обработанной поверхности; сталь Ст3

Таким образом, лабораторные испытания показали, что использование в конструкции шлифовальных лент зерен с контролируемой формой и ориентацией позволяет значительно повысить их работоспособность по сравнению со стандартной лентой. Причем, выбор той или иной формы и ориентации зерен зависит от конкретной задачи. Например, если

на первом плане стоит производительность шлифования, то целесообразно использовать зерна пластинчатых разновидностей, которые обеспечат повышение режущей способности ленты на 30÷40%. Если же более важен фактор достигаемой шероховатости обработки, то предпочтительнее выбрать зерна изометрической формы, которые, при прочих равных условиях, гарантируют снижение этого показателя на 15÷20%.

Что касается ориентации зерен, то их наклон в направлении резания под углом 75° дает наибольший эффект в плане повышения режущей способности и наименьший эффект по достигаемой шероховатости обработки.

Описанные результаты, полученные в лабораторных условиях, нашли подтверждение в ходе производственных испытаний на заводах ООО Завод «Победит» (г. Киселевск), ООО «ЦАРМ» (г. Кемерово).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено, что форма шлифовальных зерен, используемых для изготовления шлифовальных лент и других инструментов, изменяется в широком диапазоне от изометрических до пластинчатых разновидностей и это обстоятельство оказывает существенное влияние на работоспособность инструментов и эффективность процесса шлифования. Большое влияние на эффективность работы лент оказывает также ориентация зерен относительно плоскости резания.
2. Количественную оценку формы зерна целесообразно производить по параметру «коэффициент формы», который, в свою очередь, можно рассчитывать при помощи специальной программы для ЭВМ.
3. Установлено, что прочность и режущая способность единичных шлифовальных зерен зависит от их формы и ориентации. Так, компьютерное моделирование с использованием метода конечных элементов и практическая оценка ударной прочности единичных зерен с разной формой с помощью специального устройства показали, что с увеличением коэффициента формы ( $K_\phi$ ) прочность зерна падает, т.е. изометрические зерна, при прочих равных условиях, обладают большей прочностью. Режущая способность единичных зерен, определенная в условиях плоского шлифования с помощью специального приспособления, тем выше, чем больше их коэффициент формы. Наибольшая режущая способность достигается при угле наклона зерен в интервале  $60^\circ \div 90^\circ$  в направлении резания.
4. Созданные экспериментальные установки – устройство для сепарации шлифовальных зёрен по форме, компактная линия и термокамера для изготовления и для сушки экспериментальной шлифовальной шкурки, позволяют в лабораторных условиях изготавливать опытные образцы шлифовальных лент с различной формой и ориентацией зерен.
5. Разработан способ изготовления шлифовальных шкур и лент, на основе которого изготовлены экспериментальные образцы шлифовальных лент с разной формой и ориентацией зерен.

6. Установлена степень влияния формы и угла ориентации шлифовальных зерен относительно основы шлифовальной ленты на такие показатели процесса шлифования и параметры ленты, как режущая способность ленты ( $Q$ ), износ ленты ( $h$ ), температура в зоне резания ( $T$ ), мощность, затрачиваемая на резание ( $We$ ), шероховатость обработанной поверхности ( $Ra$ ). Выявлено, в частности, что использование лент, изготовленных из зерен пластинчатой формы ( $K_\phi \approx 2,27$ ) сориентированных относительно основы под углом  $\gamma = 75^\circ$ , повышает режущую способность по отношению к стандартной ленте в среднем на 35%. Применение в конструкции ленты зерен изометрической формы ( $K_\phi \approx 1,14$ ) позволяет уменьшить износ инструмента в среднем на 35%, а шероховатость обработанной поверхности на 17%.
7. На основании полученных экспериментальных данных разработаны статистические модели, отражающие влияние коэффициента формы шлифовальных зерен ( $K_\phi$ ) и угла их ориентации относительно основы ( $\gamma$ ) на основные эксплуатационные характеристики лент и позволяющие прогнозировать работоспособность лент в зависимости от этих параметров.
8. Разработаны рекомендации по применению новых конструкций шлифовальных лент, содержащих в своем составе классифицированные по форме абразивные зерна, сориентированные по отношению к основе. Рекомендации позволяют более рационально использовать возможности этих инструментов. В частности, для обдирочных и черновых работ целесообразно применять ленты с зернами пластинчатой формы сориентированными под углом  $\gamma = 75^\circ$  относительно основы, а для чистовых работ, где предъявляются высокие требования к качеству обрабатываемой поверхности, более подходят ленты из зерен изометрической формы.
9. Опытные образцы шлифовальных лент, испытанные на ООО Завод «Победит» (г. Киселевск) и ООО «ЦАРМ» (г. Кемерово), подтвердили эффективность их использования.

**Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Коротков А.Н., Люкшин В.С., Прокаев Н.В., Костенков С.А. Сепарация абразива по форме// Потенциальные возможности региона Сибири и проблемы современного сельскохозяйственного производства: Материалы 1-й региональной научно-практической конференции, 6-7 июня, 2002г. – Кемерово: АНО ИПЦ «Перспектива», 2002. – С. 235–238.
2. Коротков А.Н., Люкшин В.С., Шатько Д.Б. Термокамера для сушки шлифовальной шкурки// Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: Труды Всеросс. науч. практич. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 133–134.
3. Коротков А.Н., Люкшин В.С., Костенков С.А. Сепарация шлифовальных зерен по признаку формы// Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Матер. Всеросс. науч. практич. конф. 25-26.09.2003 – Бийск: Изд-во Алт. Гос.техн.ун-та, 2003. – С.52–55.
4. Коротков А.Н., Люкшин В.С., Шатько Д.Б. Компактная линия для изготовления опытных шлифовальных шкурки// Ресурсосберегающие технологии в машиностроении: Материалы 3-ей Всеросс. науч. практич. конф. 25-26 сентября 2003 года. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2003. – С. 94–97.
5. Коротков А.Н., Люкшин В.С., Алехин Н.А. Использование специального программного обеспечения для оценки формы шлифовальных зерен// Молодежь Поволжья – науке будущего (ЗМНТК -2003): Труды заочной молодежной научно-технической конференции (31 марта – 15 июня 2003 года). – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – С. 103-104.
6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2004610227. Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен (Programm) / В.С. Люкшин, Н.А. Алехин. - №2003612419; Заявлено 21.11.03; Опубл. 20.01.04.
7. Романенко А.М., Люкшин В.С., Минешев М.А. Исследование ударной прочности шлифовальных зерен// Обработка металлов. –2004.–№1 (22).–С.35–36.

8. Люкшин В.С. Исследование формы шлифовальных зерен // Обработка металлов. – 2004. – №3 (24). – С. 15–16.
9. Пат. 38505 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G 01 N 3/00. Устройство для определения ударной прочности шлифовальных зерен / Коротков А.Н., Романенко А.М., Люкшин В.С., Минешев М.А.; заявитель и патентообладатель Коротков А.Н., Романенко А.М., Люкшин В.С., Минешев М.А. – № 2004104702; заявл. 17.02.04; опубл. 20.06.04, Бюл. № 17.
10. Пат. 223603 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 03 С 7/08. Устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме / Коротков А.Н., Костенков С.А., Люкшин В.С., Прокаев Н.В.; заявитель и патентообладатель Коротков А.Н., Костенков С.А., Люкшин В.С., Прокаев Н.В. – № 2003113373; заявл. 06.05.03; опубл. 20.09.04, Бюл. № 26.
11. Пат. 2250817 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 24 D 11/00, 18/00. Способ изготовления шлифовальных шкурки и лент / Коротков А.Н., Люкшин В.С.; заявитель и патентообладатель Коротков А.Н., Люкшин В.С. – № 2003104704; заявл. 17.02.03; опубл. 27.04.05, Бюл. № 12.
12. Коротков А.Н., Костенков С.А., Люкшин В.С., Прокаев Н.В. Устройство для сепарации шлифовальных зерен по форме// Инновации и изобретения года: Материалы регионального конкурса. – Кемерово. – 2005. С. 40.
13. Люкшин В.С., Алехин Н.А. Программа для расчета коэффициента формы шлифовальных зерен// Инновации и изобретения года: Материалы регионального конкурса. – Кемерово. – 2005. С. 42.
14. Коротков А.Н., Романенко А.М., Люкшин В.С., Минешев М.А. Устройство для определения ударной прочности шлифовальных зерен// Инновации и изобретения года: Материалы регионального конкурса. – Кемерово. – 2005. С. 39.
15. Коротков А.Н., Люкшин В.С. Повышение работоспособности шлифовальных лент за счет использования зерен с контролируемой формой и ориентацией на основе // Обработка металлов. – 2006. – №2 (31). – С. 14–15.