

УДК 621.7:621.9:621.3:62-4:62-5:62-9

**ЛЕНТОЧНЫЙ ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ С ОРИЕНТИРОВАННЫМ РЕЛЬЕФОМ
АБРАЗИВОСОДЕРЖАЩЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ****А. С. КИРИЕНКО***(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается возможность прогнозирования эксплуатационных характеристик инструмента на стадии проектирования и достижения необходимых параметров при его изготовлении и последующей эксплуатации, представляющая интерес для разработчиков гибких шлифовальных инструментов. Демонстрируются научно обоснованные и экспериментально подтвержденные способы управления формированием ориентированных структур и значений углов ориентирования зерен абразива в рабочих поверхностях гибких инструментов, используемых для шлифования различных конструкционных материалов. Представлены результаты аналитической оценки макроскопических исследований, процесса резания ориентированным зерном и исследований износостойкости полученных образцов ленточного шлифовального инструмента с углами ориентированности 0, 10, 20, 40, 60° зерен электрокорунда 14А относительно тканевой основы.

Ключевые слова: абразивные материалы, рельеф поверхностного слоя, ориентированность зерен абразива, электростатическое поле, макроскопические исследования, производительность шлифовального инструмента.

Введение. Технология шлифовальной обработки гибким инструментом – достаточно трудоемкий процесс, параметры которого взаимосвязаны с характеристиками рельефа поверхности абразивного слоя инструмента. Формирование рельефа абразивного слоя при получении гибкого шлифовального инструмента известными методами приводит к необоснованному расходу дорогостоящего абразивного материала и получению рабочей поверхности многослойных или однослойных покрытий с хаотично расположенными зернами абразива, об эффективности обработки которыми можно говорить лишь с учетом некоторых среднестатистических величин [1; 2]. Для увеличения производительности шлифовальной обработки необходимо стабилизировать условия резания в зоне контакта поверхности детали и зерен абразива [3; 4]. Анализ работ, посвященных этим вопросам, позволил установить, что в поведении единичного абразивного зерна применительно к процессам эластичного шлифования наблюдаются закономерности. Выявлена зависимость глубины внедрения зерна от нагрузки на шлифующее зерно, температуры в зоне резания и режимов шлифования, длины кривой контакта, характеристических размеров и формы самого зерна, рельефа рабочей поверхности шлифовального инструмента [4]. Однако результаты этих работ не дают ответа, каким образом можно стабилизировать условия резания при эластичном шлифовании. При использовании существующих конструкций эластичных шлифовальных инструментов с произвольным расположением абразивного зерна достигнуть этого невозможно. В работах, посвященных вопросам формообразования структур и рельефа поверхностей шлифовальных инструментов, прослеживается зависимость между определенным образом сориентированными зернами в поверхностных слоях абразивосодержащих инструментов, геометрия которых влияет на напряженно-деформированное состояние абразивных зерен при шлифовании, и эксплуатационными характеристиками самого инструмента [5; 6]. В связи с этим сформулировано предположение, что сориентированные определенным образом зерна в абразивосодержащем поверхностном слое обладают повышенной изнашивающей способностью, поскольку резание материала происходит по достаточно хорошо изученным законам лезвийной обработки [7; 8]. В настоящее время известен и описан характер влияния рельефа и макроструктуры поверхностного слоя шлифовального инструмента на его долговечность, производительность и другие характеристики. Однако отсутствуют научно обоснованные и экспериментально подтвержденные способы управления формированием ориентированных структур и значений углов ориентирования дисперсных абразивных порошков в рабочих поверхностях абразивосодержащих инструментов, используемых для шлифования различных конструкционных материалов [7; 8].

С целью управления поведением шлифовальных материалов при формировании рельефа поверхностного слоя для регулирования физико-механических и эксплуатационных свойств гибких инструментов проведены исследования и реализован научно обоснованный способ электростатического нанесения абразивосодержащих слоев. Это явилось условием для реализации научной задачи, направленной на разработку способа ориентированности абразивных зерен в рабочей поверхности эластичного шлифовального инструмента, для повышения его износостойкости и режущей способности, а также производительности шлифовальной обработки. Эластичный шлифовальный инструмент с регулированием ориентированности зерен абразива сможет заменить дорогостоящие абразивные инструменты на гибкой основе

с произвольным расположением синтетического алмаза, эльбора и других сверхтвердых материалов за счет направленного использования физико-механических свойств недорогих марок абразива [8; 9].

Основная часть. Сформулировав предположение о регулировании ориентированности зерен абразива воздействием электростатического поля, проведено исследование шлифовальных порошков различных материалов по критерию восприимчивости к воздействию электростатическим полем, в результате чего наиболее оптимальным абразивным материалом для нанесения ориентированных абразиво-содержащих поверхностных слоев гибкого шлифовального инструмента с ориентацией зерен выбран электрокорунд [8; 10]. Оптимальные размеры зерен абразива и параметров электростатического нанесения определялись на экспериментальной установке. Вертикально расположенным генератором электростатического поля на бумажную ленту с равномерным слоем клея марки ПВА, последовательно повернутую на углы, составляющие 0, 10, 20, 40, 60°, наносили шлифовальный порошок электрокорунда 14А с размером зерен 0,63, 0,40 и 0,20 мм. Полученные образцы подвергались сушке на открытом воздухе. При микроскопическом исследовании полученных образцов абразиво-содержащих слоев отчетливо видна ориентированность зерен абразива по своей наибольшей оси, в отличие от хаотично расположенных зерен абразива в образцах покрытий, полученных методом механической насыпки (рисунки 1, 2).



Рисунок 1. – Образец покрытия с ориентированными зернами абразива



Рисунок 2. – Образец покрытия с неориентированными зернами абразива

Условившись, что число всех абразивных зерен видимой через окуляр площади составляет 100%, определили долю ориентированных зерен каждого исследуемого образца. Результаты вычислений процентного соотношения ориентированности абразива представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Ориентированность зерен абразива в поверхностных абразиво-содержащих слоях исследуемых образцов ленточного шлифовального инструмента, %

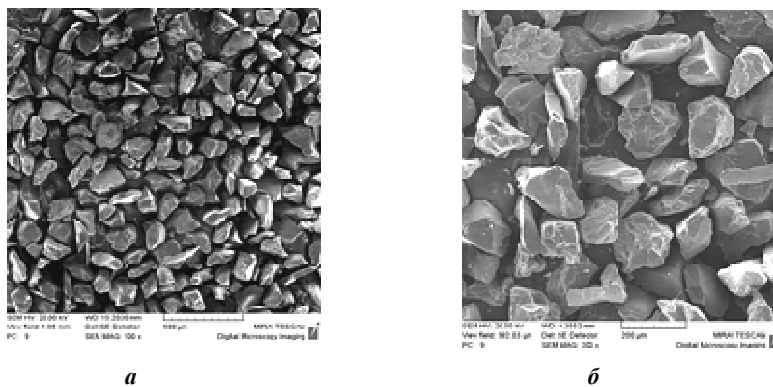
Угол ориентированности зерен абразива, относительно тканевой основы, град	Ориентированность зерен абразива в поверхностных абразиво-содержащих слоях, %		
	при размерах абразивного материала, мм		
	0,20	0,40	0,63
0	93	89	86
10	85	78	75
20	80	66	60
40	68	50	40
60	39	32	20

Из таблицы видно, что в образцах покрытий с зернами электрокорунда фракции 0,20 мм количество сориентированных под разными углами зерен выше в сравнении с образцами, содержащими зерна фракций 0,40 и 0,63 мм. Анализ полученных результатов позволил сделать следующие *выводы*:

- 1) электростатическое поле оказывает влияние на ориентированность зерен абразива в покрытии, при этом их концентрация и ориентированность зависит от направления вектора напряженности поля;
- 2) наибольшие глубина и концентрация зерен абразива достигается при вертикальном направлении вектора напряженности электростатического поля к поверхности тканевой основы при угле ее поворота 0°;
- 3) уменьшение угла между вектором напряженности электростатического поля и поверхностью образца приводит к уменьшению угла между наибольшей осью зерна абразива и поверхностью образца, а также снижению концентрации абразива в рабочем слое и глубины его проникновения в клеевой слой. При этом отмечается увеличение разности между этими углами на 2...4°;

4) зерна меньшего размера при одних и тех же параметрах электростатического поля в среднем проникают на меньшую глубину, и их концентрация меньше, чем у более крупных зерен. Это можно объяснить их более низкой кинетической энергией.

Макроскопические исследования рельефа однослойных поверхностей полученных абразиво-держащих покрытий изготовленных образцов гибкого шлифовального инструмента (рисунок 3) показали, что видимой анизотропии расположения зерен абразива не наблюдается.

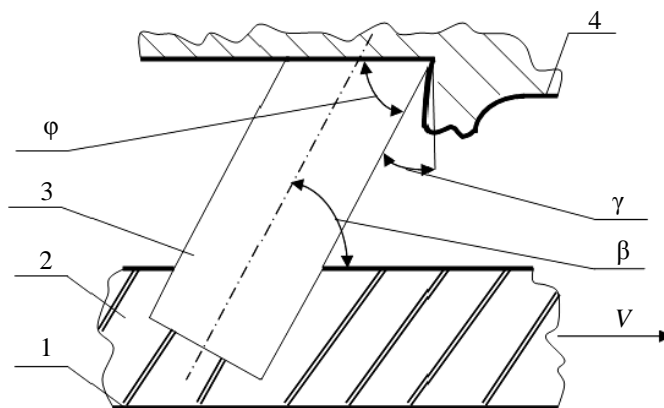


a – увеличение $\times 100$; *б* – увеличение $\times 200$

Рисунок 3. – Образцы рельефа однослойной рабочей поверхности с ориентированными зернами абразива ленточного шлифовального инструмента, полученного электростатическим нанесением абразива с углом ориентированности зерен абразива $\beta = 0^\circ$

В ходе детального исследования рельефа полученных образцов эластичного шлифовального инструмента и обработки полученных результатов приходим к выводу, что зерна абразива, закрепленные в клеевой основе, ориентируются при их перемещении в электростатическом поле к основе, повернутой на определенный угол, в отличие от их хаотического расположения в традиционных шлифовальных инструментах. Ориентированность абразивного зерна в исследуемых образцах покрытий составила 85...90%. По итогам проведенных экспериментов определено, что на получаемый рельеф абразиво-содержащего покрытия, концентрацию, плотность нанесенного слоя, ориентированность зерен абразива в покрытии влияют физические свойства наносимых абразивных порошков и угол нанесения абразивного зерна. Оптимальный диапазон углов ориентированности абразивных зерен от 0 до 20° . Внедрение в вязкую основу происходит равномерно, поэтому при производстве гибкого абразивного инструмента необходимо также учесть наиболее рациональные значения углов для шлифования различных по своим свойствам материалов [11; 12].

Рассматривая зерно абразива, участвующее в процессе шлифовальной обработки, можно рассчитать изменение площади фактического контакта в зависимости от угла ориентированности зерна относительно обрабатываемой поверхности в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.



1 – тканевая основа; 2 – клеевая связка; 3 – ориентированное абразивное зерно;
4 – обрабатываемая поверхность; ϕ – угол при вершине зерна;
 γ – передний угол резания; β – угол ориентированности абразивного зерна

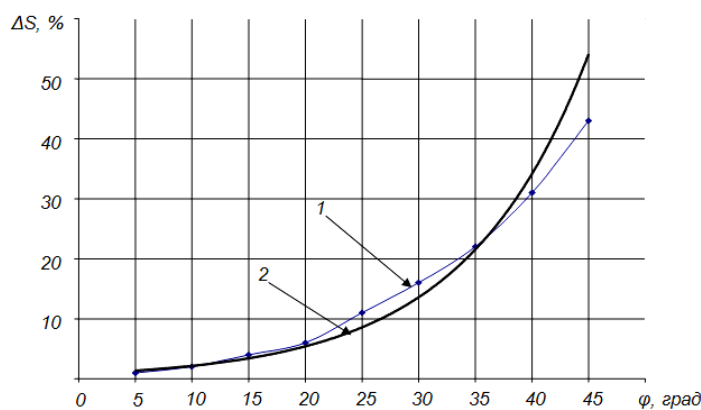
Рисунок 4. – Схема резания ориентированным зерном абразива

При реализации данной схемы величина фактической площади контакта зерна изменяется в соответствии с соотношением

$$S_{op} = \frac{S_{nom}}{\cos \varphi},$$

где S_{op} – фактическая площадь контакта зерна, ориентированного под углом β относительно основы; S_{nom} – номинальная площадь зерна абразива; φ – угол при вершине, равный β – углу ориентированности абразива относительно основы.

Результаты аналитического расчета изменения площади контакта и плеча силы резания в зависимости от изменения угла ориентированности абразива относительно обрабатываемой поверхности и экспериментальная кривая представлены на рисунке 5.



1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая зависимость

Рисунок 5. – Зависимость относительного приращения площади контакта ΔS частицы от изменения угла ориентированности абразива β относительно основы

Для оценки фактической площади контакта поверхности шлифовальной ленты проведены микроскопические исследования с последующим фотографированием поверхностей реза и анализа фотоотпечатков. Площадь фактического контакта определяли измерением площади поверхности контактирующих зерен абразива с обрабатываемой поверхностью.

Анализируя результаты, приходим к выводу, что изменение рельефа поверхности и угла ориентированности зерен абразива относительно основы от 0 до 40° приводит к увеличению производительности шлифовальной обработки в 1,3...1,5 раза, что является весьма ощутимым резервом использования традиционных малоефективных абразивных материалов для шлифовальной обработки твердых наплавов, сварных швов и т.п. [12; 13]. Это также подтверждают результаты исследования износостойкости экспериментальных образцов ленточного шлифовального инструмента из электрокорунда 14А размером зерен 0,20 мм, полученных методом электростатического нанесения с углами ориентированности зерен абразива 0, 10, 20, 40, 60° и путем сравнения полученных экспериментальных показателей с нормативными значениями ГОСТ 5009-82 [10]. График зависимости износостойкости образцов покрытий от угла ориентированности зерен абразива показан на рисунке 6.

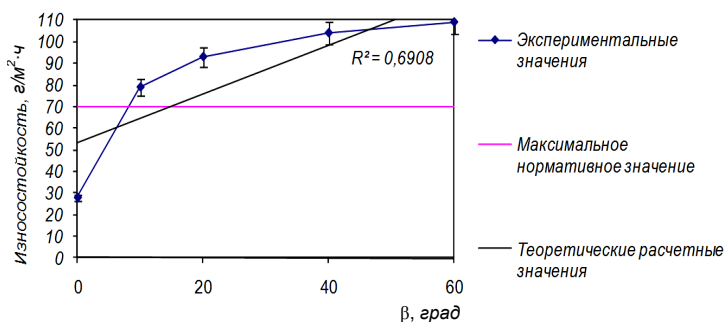


Рисунок 6. – Влияние рельефа поверхности и угла ориентированности β зерен абразива размером 0,20 мм относительно основы в абразивосодержащих образцах покрытий на их износостойкость

Результаты исследования износостойкости экспериментальных образцов покрытий с различным рельефом и углами ориентированности зерен абразива свидетельствуют: показатель износостойкости уменьшается с приближением значений угла ориентированности абразива в покрытии к 0° , т.е. у покрытий с перпендикулярно закрепленными зернами абразива относительно поверхности основы износостойкость ниже по сравнению с покрытиями с наклонным расположением зерен абразива.

Сравнение экспериментальных значений с нормативными показателями выявило, что износостойкость покрытий с ориентированностью зерен абразива под углом 0° ниже в 1,2 раза, а покрытий с ориентированностью зерен абразива под углами 20, 40, 60° в среднем в 1,3...1,5 раза выше [13; 14].

Заключение. При проведении исследований выявлены новые представления о способе формирования ориентированной макроструктуры и рельефа поверхностей гибких шлифовальных инструментов. Аналитически решена задача по нахождению оптимальных параметров формообразования в электростатическом поле ориентированной макроструктуры и рельефа абразивосодержащих слоев шлифовальных инструментов, являющихся условием повышения их износостойкости и режущей способности.

В результате статистической обработки данных исследований рельефа рабочих поверхностей образцов установлено влияние направления вектора напряженности электростатического поля под углами 20... 40° к основе на ориентированность 85...90% абразивных зерен в слое, а также зависимость между увеличением угла ориентированности зерен абразива и снижением концентрации абразива в рабочем слое, глубины их проникновения в слой.

Экспериментально доказано, что рельеф абразивосодержащего поверхностного слоя покрытия из ориентированных под углами 20... 60° зерен электрокорунда 14А в образцах эластичных шлифовальных инструментов способствует увеличению износостойкости таких поверхностей в 1,3...1,5 раза в сравнении с традиционными эластичными инструментами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремень, З.И. Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин ; под общ. ред. З.И. Кременя. – СПб. : Политехника, 2015. – 424 с.
2. Мрочек, Ж.А. Процессы шлифования в машиностроении : учеб. пособие / Ж.А. Мрочек, М.Г. Киселев, Л.М. Кожуро. – М. : Инфра-М, Новое знание, 2013. – 358 с.
3. Malkin, S. Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives / S. Malkin, Ch. Guo. – New York : Industrial Press Inc, 2008. – 372 p.
4. Никифоров, И.П. Роль внешнего и внутреннего трения в процессе микрорезания абразивным зерном / И.П. Никифоров, П.Н. Мальцев // Вестн. Псков. гос. ун-та. Сер. Экономические и технические науки. – 2012. – № 1. – С. 116–123.
5. Lynch, A.J. The History of Grinding / A.J. Lynch, C.A. Rowland // Metallurgy, and Exploration : Electronic edition published, 2009. – 218 p.
6. Никифоров, И.П. Состояние и перспективы производства абразивных материалов / И.П. Никифоров // Труды ППИ. Сер. Машиностроение. Электротехника. – 2012. – № 15.3. – С. 265–270.
7. Завистовский, С.Э. Моделирование процесса электростатического осаждения абразивных покрытий / С.Э. Завистовский, Т.И. Завистовская, А.С. Кириенко // Практика и перспективы развития институционального партнерства : материалы междунар. науч.-практ. семинара. – Таганрог, 2002. – 186 с.
8. Завистовский, С.Э. Разработка эффективного абразивного инструмента для лентошлифовальной обработки напыленных поверхностей / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Сварка и родственные технологии : респ. межведомственный сб. науч. тр. ; ГУ НИКТИ СП с ОП ; редкол.: Г.Н. Здор [и др.]. – Минск, 2004. – Вып. 6. – С. 87–89.
9. Завистовский, С.Э. Лентошлифовальный инструмент для отделочной обработки восстановленных и упрочненных шеек коленчатых валов / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. Промышленность. – 2005. – № 12. – С. 127–131.
10. Кириенко, А.С. Технология изготовления специального ленточного абразивного инструмента и оценка его производительности / А.С. Кириенко, С.Э. Завистовский // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. Промышленность. – 2006. – № 6. – С. 20–25.
11. Завистовский, С.Э. Особенности получения рабочей поверхности специального гибкого абразивного инструмента на предприятиях Витебской области / С.Э. Завистовский, А.С. Кириенко // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : сб. докл. 8-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–28 мая 2008 г. ; редкол.: А.Ф. Ильющенко [и др.]. – Минск, 2008. – С. 125–128.

12. Кириенко, А.С. Технология и оборудование для получения эластичного инструмента с ориентированными зернами абразива / А.С. Кириенко // Инновационные технологии в машиностроении : материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 35-летию машиностроительного фак. Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 19–20 октября 2011 г. ; М-во образования Респ. Беларусь ; Нац. акад. наук Беларуси ; Госкомитет по науке и технологиям ; Полоц. гос. ун-т ; под ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк : ПГУ. – 2011. – С. 98–101.
13. Кириенко, А.С. Тенденции развития современных технологий производства эластичных инструментов с ориентированными зернами абразива / А.С. Кириенко // Инновационные технологии в машиностроении «ИННТЕХМАШ-2015», посвящ. 100-летию акад. П.И. Ящерицына и 40-летию машиностроительного фак. Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 28–29 октября 2015 г. ; Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – С. 112–114.
14. Кириенко, А.С. Развитие шлифовального инструмента на эластичной основе / А.С. Кириенко, П.Н. Рогов // Инновационные технологии в машиностроении «ИННТЕХМАШ-2015», посвящ. 100-летию акад. П.И. Ящерицына и 40-летию машиностроительного фак. Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 28–29 октября 2015 г. ; Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. А.И. Гордиенко, В.К. Шелега. – Новополоцк : ПГУ, 2015. – С. 115–118.

Поступила 12.02.2018

THE BAND POLISHING TOOL WITH THE ORIENTED RELIEF THE ABRASIVE OF CONTAINING SUPERFICIAL LAYER

A. KIRIENKO

For the developers of flexible polishing instruments most interest presents possibility of prognostication of operating descriptions of instrument on the stage of planning and achievement of necessary parameters at his making and subsequent exploitation. In the article the scientifically reasonable and experimentally confirmed methods of management are presented forming of the oriented structures and values of corners of orientation of grains of abrasive in the working surfaces of the flexible instruments used for polishing of different construction materials. There are results of analytical estimation of macroscopic researches, cutting process by the oriented grain and researches of wearproofness of the got standards of band polishing instrument with the corners of oriented 0, 10, 20, 40, 60° grains of electro-corundum of 14A of relatively tissue basis.

Keywords: *abrasive materials, relief of superficial layer, oriented of grains of abrasive, electrostatic field, macroscopic researches, productivity of polishing tools.*