

УДК 621.9.04

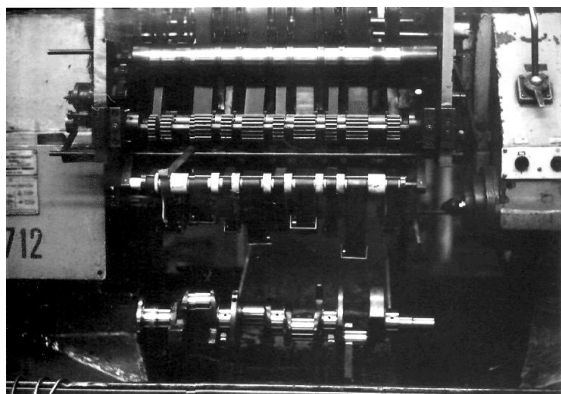
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ЛЕНТОЧНОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА И ОЦЕНКА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

*канд. техн. наук, доц. С.Э. ЗАВИСТОВСКИЙ, А.С. КИРИЕНКО
(Полоцкий государственный университет)*

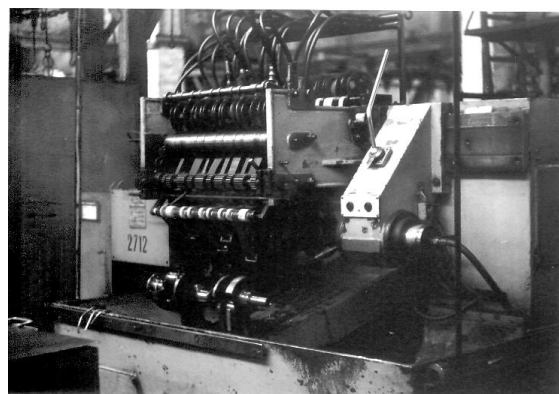
Традиционная технология механической обработки ленточным шлифовальным инструментом – достаточно трудоемкий процесс, параметры качества которого находятся в строгой связи с характеристиками абразивного слоя. Слой покрытия абразива в производимых в настоящее время абразивных шкурках формируется в виде хаотично расположенных зерен, об эффективности обработки которыми можно говорить лишь с учетом некоторых среднестатистических величин. Это приводит к нерациональному использованию как абразивного материала, так и лентошлифовального оборудования при механической обработке деталей с различным уровнем поверхностных свойств. Для получения высоких показателей качества следует стремиться к стабилизации условий резания в контакте поверхности детали и зерен абразива. При существующих конструкциях шлифовальных лент достигнуть этого невозможно, так как структура расположения зерна абразива в покрытии хаотичная.

Необходимость изготовления ленточного инструмента с ориентированным положением закрепленных зерен абразива связана с потребностью машиностроительных предприятий Беларуси в высокоэффективном шлифовальном инструменте, используемом при выполнении широкого спектра технологических операций, начиная с обдирочных и заканчивая доводочными и отделочными операциями. При этом предлагаемый инструмент должен соответствовать принятым нормативно-техническим требованиям [1]. Шлифовальный инструмент с ориентированными зернами абразива предназначен для машинной обработки на лентошлифовальных станках. При обработке абразивная лента движется в одном направлении.

При проведении ремонтных работ по восстановлению технологических и эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей коленчатых валов определенную долю занимают отделочные операции. В некоторых случаях они реализуются способом ленточного шлифования. Так, на ОАО «Полоцкий завод «ПРОММАШРЕМОНТ» (г. Полоцк) производят шлифование восстановленных шеек коленчатых валов на специальном лентошлифовальном станке модели ЛШС-052 (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Отделочная обработка восстановленных шеек коленчатых валов на лентошлифовальном станке модели ЛШС-052:

а – зона обработки; б – общий вид

При шлифовании на ленту воздействуют разрывные нагрузки, влага, так как обработка ведется в охлаждающей эмульсионной среде. По сведению персонала предприятия, из-за недостаточного материального обеспечения иногда используется шлифовальная лента с большим размером фракции зерна, вследствие чего во время обработки на шлифуемой поверхности возможны прижоги, отрицательно сказывающиеся на ее качестве и свойствах структуры поверхностного слоя. Это приводит к снижению эксплуатационных характеристик детали, вследствие технологического наследования указанных негативных факторов [2]. В результате детального изучения процесса ленточного шлифования, сделан вывод о том, что причины, вызывающие эти факторы, связаны с нестабильностью условий резания вследствие нерационального расположения зерен абразива в лентошлифовальном инструменте [3].

Исходными предпосылками для разработки технологии получения высокоэффективного шлифовального инструмента для отделочной обработки стало предположение о том, что наибольшая эффективность процесса резания возможна при реализации схемы лезвийного резания, для которой имеются строгие соотношения между параметрами режущего инструмента и положением обрабатываемой заготовки [4]. Предварительные исследования показывают [4], что наиболее эффективным по критериям производительности и качества обработки является такой ленточный шлифовальный инструмент, все составляющие абразивные частицы которого последовательно участвуют в процессе резания с равными затратами мощности резания, обусловленными равной ориентацией частиц абразива относительно обрабатываемой заготовки. Поэтому к проектированию эффективного лентошлифовального инструмента следует подходить с позиций разработки эффективного метода ориентирования частиц абразива на поверхность основы с последующим их жестким закреплением.

Ориентация частиц предполагает достижение такого положения частиц абразива, чтобы резание производилось наиболее острыми режущими кромками, образующимися относительно главной оси частицы [6], как показано на рисунке 2.

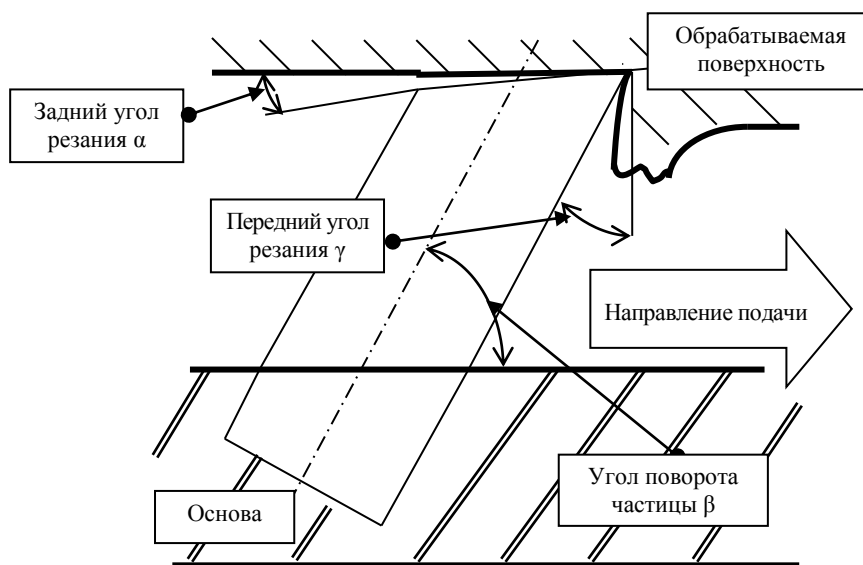


Рис. 2. Схема резания при рациональной ориентации зерен абразива на поверхности основы шлифовальной ленты

Реализация предложенной схемы позволит не только реализовать схему лезвийного, но и позволит выходить с абразивными материалами средней твердости на обработку более твердых конструкционных материалов ввиду увеличения эффективного сечения абразивных частиц и уменьшения плеча силы резания вследствие более рациональной ориентации частиц абразива относительно плоскости резания [7]. Величина фактической площади контакта частицы изменяется в соответствии с соотношением:

$$S_{op} = \frac{S_{nom}}{\cos \beta}, \quad (1)$$

где S_{op} – фактическая площадь контакта частицы, ориентированной под углом β относительно основы; S_{nom} – площадь частицы абразива в плане; β – угол поворота частицы абразива относительно основы.

Результаты аналитического расчета изменения площади контакта и плеча силы резания в зависимости от изменения угла ориентации частицы относительно обрабатываемой поверхности и экспериментальная кривая представлены на рисунке 3.

Для оценки фактической площади контакта поверхности шлифовальной ленты использовали микроскопические исследования на микроскопе МБС-10 с последующим фотографированием поверхностей среза. Площадь фактического контакта определяли измерением площади поверхности контактирующих с обрабатываемой поверхностью частиц абразива, полученных в результате анализа фотоотпечатков.

Анализируя результаты можно сделать вывод о том, что изменение угла ориентации зерен абразива в структуре поверхности относительно основы на $20...40^\circ$ может привести к изменению фактической мощности резания и производительности шлифовальной обработки на $10...50\%$, что является весьма ощутимым резервом использования традиционных малодефицитных абразивных материалов для обработки твердых наплавов, сварных швов и т.п.

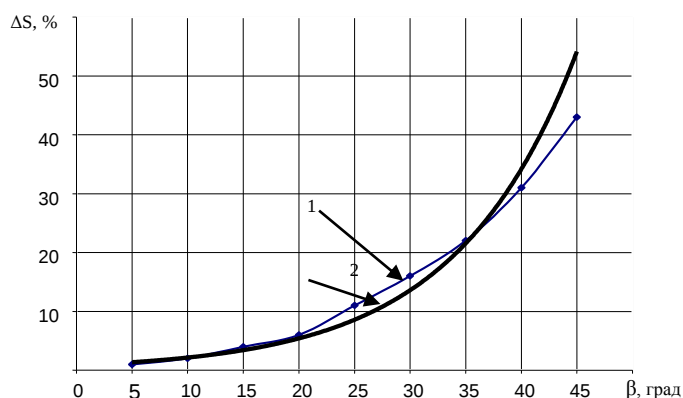


Рис. 3. Зависимость относительного приращения площади контакта частицы ΔS от изменения угла поворота частицы абразива β , относительно основы:
1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая зависимость

Увеличение фактической площади контакта и снижение плеча силы резания позволит при прочих равных условиях, используя внутренний ресурс данного абразива, наличие которого обусловлено более рациональным перераспределением напряженно-деформированного состояния, использовать его при обработке материалов, прочность и твердость которых выше на величину соответствующего приращения [8]. Указанное заключение основывается на оценке кинематики процесса резания специально ориентированными зернами абразива.

В ходе разработки методики получения шлифовальной ленты с ориентированным зерном проделан анализ имеющихся способов ориентации. Из рассмотренных способов обработки свободным зерном, ориентированным в магнитном поле, хаотического ориентирования вибрационным воздействием, ориентирования в электростатическом поле и другого множества для реализации ориентирования зерна по отношению к основе выбран самый рациональный по ряду технико-экономических критериев способ нанесения абразива в электростатическом поле [9]. В соответствии со стандартами проведены исследования физико-механических свойств абразивных материалов и основы [14 – 17], ситовые и микроскопические исследования абразива [18]; изучена физика процесса транспортирования частиц в электростатическом поле (Акт испытаний абразивного инструмента от 14.12.2004 г.); получены результаты исследований (Протоколы № 5, 6, 7 от 14.12.2004 г.). Это дало возможность разработать ряд требований и критериев выбора материала, режимов нанесения зерен в электростатическом поле, что в свою очередь легло в основу разработанной математической модели, описывающей процесс нанесения абразива на гибкую основу [10]. Математическая модель описывает основные стадии ориентирования зерна:

- 1) зарядка частицы, формирование заряженного диполя с последующей его ориентацией вдоль главной оси в электростатическом поле;
- 2) отрыв и полет заряженного диполя под действием электростатического поля;
- 3) контакт и проникновение движущейся частицы в вязкую основу.

Модель позволила внести существенные изменения в стандартную [1, 19, 20] технологию получения шлифовальной шкурки. Технология сохранила свое содержание, но получила развитие в способах ее реализации. Так, например, абразивные зерна транспортируются вверх к основе и ориентируются по своей наибольшей оси еще в полете, в отличие от стандартной технологии, где абразив рассыпается на основу, внедряется в клей и только затем при воздействии электростатического поля, пронизывающего ленту, ориентируется по наибольшей оси. Данное изменение повышает число ориентированных частиц на 60 % [11]. При реализации новой технологии необходимо получать ленточный шлифовальный инструмент определенной номенклатуры размеров его ширины. Все это привело к разработке конструкции специального оборудования, реализующего процесс получения нового ленточного инструмента определенного размера с ориентированными зернами абразива в электростатическом поле.

При реализации стандартной технологии абразивные частицы внедряют в предварительно аппретированную и покрытую требуемым клеевым составом основу, затем ленту сушат, наносят защитное покрытие и окончательно высушивают [12]. Процесс естественной (воздушной) сушки при температуре 18...20 °С лаковых покрытий абразивных лент весьма продолжителен (24 ч и более) и требует больших производственных площадей. Традиционно используемые в настоящее время конвективные сушильные шкафы с гирляндным расположением ленты не обеспечивают требуемую скорость сушки, определяемую интенсивностью технологического процесса изготовления абразивной ленты. При сочетании конвективного нагрева с инфракрасным излучением (терморadiационная сушка) передача тепла лаковому слою

будет осуществляться главным образом от подложки, которая нагревается за счет проникновения и поглощения инфракрасных лучей. Нагреваясь, лаковый слой не препятствует удалению растворителей, что ускоряет процесс отверждения. Для реализации терморadiационной сушки узкой абразивной ленты разработана конструкция сушильной камеры.

Проведение отделочных операций по восстановлению работоспособности ответственных частей деталей инструментом с ориентированным положением частиц абразива позволит улучшить качество проводимых работ и заменить обработку твердыми и дорогостоящими абразивными материалами на обработку малододефицитными материалами средней твердости.

При производстве ленточных шлифовальных инструментов с различными углами ориентации зерен абразива исследованию производительности обработки таким инструментом уделяется особое внимание, поскольку следует принять наиболее рациональные значения углов для шлифования различных по своим свойствам материалов.

Особые требования при производстве лент предъявляют к выбору тканевых основ. Выбор обусловлен нагрузками при шлифовании: саржа особо легкая, легкая, средняя применяется при шлифовании лентами со средними нагрузками. Такие ткани, как саржа утяжеленная, полудвунитка, применяются на особо тяжелых операциях и предназначены для изготовления высокоэластичной шкурки, способной обеспечивать низкую ($Ra = 0,08 \dots 0,04$ мкм) шероховатость поверхности деталей и обрабатывать сложные поверхности. Абразивная лента работает в тяжелых условиях, огибая радиус $1 \dots 5$ мм, изгибаясь на $90 \dots 180^\circ$. Величина оптимального натяжения ленты регламентируется в пределах от 15 до 70 Н/см [12].

При проведении исследований, направленных на выявление характера производительности лент с различными углами ориентации зерен абразива опираются на соответствие данным принятых нормативных документов. Все известные методики исследования производительности включают в себя комплекс исследований направленных на выявление данных об износостойкости инструмента, его эксплуатационных характеристик и режущей способности. При разработке конструкции установки для оценки режущей способности и износостойкости ленточного абразивного инструмента важно изучить основные способы исследований производительности. Существует ряд основных методик исследований ленточного шлифовального инструмента [21, 22 и др.]

Основной способ исследования производительности включает в себя следующую методику:

1. Испытание образца шлифовальной ленты на износостойкость.

Об износостойкости абразивной ленты судят по коэффициенту износостойкости, который определяется как отношение величины зернистости шлифовальной шкурки к величине ее осыпаемости.

2. Определение режущей способности образца шлифовальной ленты.

Режущая способность ленты определяется на приборах МИ-2, СПШ-1. Метод заключается в следующем: используя весы МИ-2, проводят взвешивание стального цилиндрического стержня. Затем его зажимают в центрах ленточно-шлифовальной установки СПШ-1, а испытуемый образец бесконечной шлифовальной ленты пропускают через лентопротяжное устройство установки СПШ-1. Включают электродвигатель, передающий вращение стержню и ленте через редуктор и лентопротяжный механизм. В течение 2 мин стержень шлифуют, после чего его вновь взвешивают и определяют массу снятого материала образцом шлифовальной ленты за единицу времени. По этой величине и судят о режущей способности инструмента [13].

Для проведения исследований производительности лентошлифовальной обработки, в соответствии со схемой прибора КЗШ, на базе токарного приспособления разработана и запатентована в качестве полезной модели (Патент № 2256 от 04.11.2005 г.) экспериментальная установка, представленная на рисунке 4.



Рис. 4. Экспериментальная установка по комплексному исследованию производительности ленточных шлифовальных инструментов с различными углами ориентации зерен абразива

Установка представляет собой настольную конструкцию, состоящую из приспособления для зажима шлифуемых образцов, устройства зажима и нагружения образца шлифовальной ленты, двигателя и блока управления питанием. Блок управления питанием расположен на рабочем столе. К столу крепятся также приспособления для зажима стального образца и абразивной ленты. От блока управления питанием на электродвигатель подается постоянное напряжение 36 В. Блок управления питанием по необходимости позволяет уменьшать или увеличивать подаваемое на двигатель напряжение, что в свою очередь позволяет регулировать частоту вращения электродвигателя. Двигатель установки мощностью 0,3 кВт, закрепленный в специальных прихватах, через муфту передает вращение шлифуемому образцу, который крепится в центрах токарного приспособления. Испытуемый образец шлифовальной ленты, закрепленный одним концом в зажиме, перекинут через шлифуемый образец. К другому концу ленты с помощью прихвата прикреплен груз (нагрузка 49,0 Н).

Методика исследования режущей способности и износостойкости образцов лентошлифовального инструмента с использованием разработанной установки аналогична общепринятой [13]. При исследовании режущей способности в центр приспособления устанавливается образец обрабатываемой заготовки. На ленту, зажатую с помощью зажимов и перекинутую через вал, прикреплен груз (нагрузка 49,0 Н). Испытуемый образец приводится во вращение от бесступенчато-регулируемого электродвигателя. Продолжительность обработки зависит от характера выполняемого исследования. При исследовании износостойкости в центр приспособления устанавливается цилиндрическая деталь, покрытая абразивной лентой на периферии. Деталь приводится во вращение от бесступенчато-регулируемого электродвигателя. Происходит истирание ленты о ленту. Продолжительность процесса истирания зависит от характера выполняемого исследования.

При разработке установки учтены особенности метода определения износостойкости и методики определения режущей способности, а также конструктивные особенности установки КЗШ. Это дало возможность спроектировать универсальную установку, на которой возможно проведение целого комплекса исследований эксплуатационных свойств. С использованием установки могут проводиться исследования износа от истирания, определение предела наработки, предела стойкости и долговечности ленточного шлифовального инструмента [4 – 6].

Комплексный подход к исследованию производительности и эксплуатационных свойств ленточного абразивного инструмента с ориентацией абразивных частиц в электростатическом поле позволил расширить характер оценки, выявить различные закономерности влияния параметров изготовления инструмента на его эксплуатационные характеристики и дать рекомендации по ряду свойств лентошлифовального инструмента для работы в конкретных производственных условиях.

В соответствии с проведенными исследованиями производительности лентошлифовального инструмента с ориентированными в электростатическом поле зернами абразива (акт испытаний от 15.06.2005 г.) использование специального лентошлифовального инструмента позволяет повысить производительность на 30...40 %, не снижая качество обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12439-89. Ленты шлифовальные бесконечные и бобины шлифовальные. Технические условия и размеры. Введен 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов.
2. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. – Саратов: Университет, 1987. – 117 с.
3. Завистовский С.Э. Конструкторско-технологическое обеспечение качества отделочно-абразивной обработки сложно-профильных изделий // Упрочнение, восстановление и ремонт на рубеже веков: Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Новополоцк, 2001. – С. 657 – 660.
4. Завистовский С.Э., Завистовская Т.И. Технологические аспекты получения высокоэффективных ленточных абразивных инструментов из малодефицитных дисперсных материалов // Надежность машин и технических систем: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 2001. Т. 2. – С. 110 – 112.
5. Завистовский С.Э., Кириенко А.С., Завистовская Т.И. Рационализация конструкции и особенности технологии изготовления оптимального абразивного инструмента // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: Сб. тр. первой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11 – 13 дек. 2002 г. – Мн., 2003. – С. 27 – 31.
6. Завистовский С.Э., Кириенко А.С. Технология изготовления специального ленточного абразивного инструмента // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2003. – С. 156 – 158.

7. Процессы и оборудование абразивно-алмазной обработки / Под ред. Б.И. Горбунова. – М.: Всесоюз. заоч. машиностр. ин-т, 1977. – 276 с.
8. Завистовский С.Э., Кириенко А.С. Оценка случайных процессов при конструировании оптимального абразивного инструмента. – Мн.: Машиностроение, 2003. – Вып. 19. – С. 184 – 186.
9. Завистовский С.Э., Кириенко А.С., Завистовская Т.И. Моделирование процесса электростатического осаждения абразивных покрытий // Практика и перспективы развития институционального партнерства: Материалы междунар. науч.-практ. семинара. – Таганрог, 2002. – С. 72 – 74.
10. Завистовский С.Э., Кириенко А.С. Электростатическая восприимчивость дисперсных абразивных материалов // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Темат. сб. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Остапчика. – Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2003. – С. 375 – 376.
11. Особенности формообразования мелкодисперсных порошков абразивных материалов в электростатическом поле / С.Э. Завистовский, Ю.Н. Гафо, А.С. Кириенко, Т.И. Завистовская // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: Материалы 6-й междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 2004. – С. 308 – 309.
12. Вerezub V.N. Шлифование абразивными лентами. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
13. Износостойкость и структура твердых наплавок / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев, Е.С. Беркович и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 95 с.
14. ГОСТ 28924-91. Материалы шлифовальные. Методы определения физических и физико-механических свойств. Введен 01.07.92. – М.: Изд-во стандартов.
15. ГОСТ 25961-83. Инструменты абразивные. Акустический метод контроля физико-механических свойств. Введен 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов.
16. ГОСТ 29104.4-91. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – М.: Изд-во стандартов.
17. ГОСТ 3357-92. Ткани хлопчатобумажные для шлифовальных шкурок. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов.
18. СТБ ИСО 2591-1-2000. Ситовый анализ. Методы с использованием контрольных сит из проволоочной ткани и перюрированных металлических листов. От 01.01.2001. – М.: Изд-во стандартов.
19. ГОСТ 5009-82. Шкурка шлифовальная тканевая. Технические условия. Введен 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов.
20. ГОСТ 13344-79. Шкурка шлифовальная тканевая водостойкая. Технические условия. Введен 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов.
21. ГОСТ 23.204-78. Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки истирающей способности поверхностей при трении. – М.: Изд-во стандартов.
22. ГОСТ 23.208-79. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы. – М.: Изд-во стандартов.