

УДК 678.7:687.029:678.01

**ЛЕНТОШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ВОССТАНОВЛЕННЫХ И УПРОЧНЕННЫХ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

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

*Исследованы некоторые технологические аспекты управления перемещением дисперсных частиц абразива в электростатическом поле и создании на его основе технологии изготовления специального ленточного абразивного инструмента, используемого для отделочной обработки восстановленных и упрочненных рабочих поверхностей деталей авто- и мототехники.*

**Введение.** При проведении ремонтных работ по восстановлению технологических и эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей коленчатых валов значительную долю занимают отделочные операции. Чаще всего они реализуются способом ленточного шлифования. Так, на ОАО «Полоцкий завод «ПРОММАШРЕМОНТ» производят шлифование восстановленных шеек коленчатых валов на специальном лентошлифовальном станке модели ЛШС-052.

При шлифовании на ленту воздействуют разрывные нагрузки, влага, так как обработка ведется в охлаждающей эмульсионной среде. По данным предприятия, во время обработки на шлифуемой поверхности часто появляются прижоги, отрицательно сказывающиеся на ее качестве и свойствах структуры поверхностного слоя. Это приводит к снижению эксплуатационных характеристик детали, вследствие технологического наследования указанных негативных факторов [1]. 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 [2].

**Цель.** Создание эффективного шлифовального инструмента для отделочной обработки упрочненных, в том числе восстановленных, рабочих поверхностей.

**Методы исследований.** 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 [3]. Опыт показывает [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.

Схема формообразования и схема резания являются исходными для проектирования инструмента, вместе с тем они являются частью общей структурной схемы данного операционного технологического процесса. Особенно эффективна эта схема при применении многолезвийных и многоинструментальных наладок, а также сложнорежущего абразивного инструмента. Типовые методы механической обработки предлагают разрушение по поверхности резания; однако процессы разрушения могут иметь место и в объеме материала снимаемого слоя, но их не предусматривают при проектировании кинематики операции, поэтому они не имеют строгой ориентации в пространстве и времени. Напротив, операции должны обязательно сопровождаться разрушением всего объема снимаемого с заготовки слоя материала. Поэтому наиболее перспективные методы обработки построены на использовании высококонцентрированных и вместе с тем локализованных в пространстве потоков энергии относительно небольшой величины.

При выборе указанных схем конструктор должен руководствоваться следующими положениями:

- 1) движения, обеспечивающие кинематику процесса резания, должны быть наиболее простыми, обычно прямолинейными и вращательными;
- 2) формообразование заданной поверхности и срезание с нее припуска должно осуществляться при одних и тех же движениях инструмента и заготовки;
- 3) закон движения инструмента и заготовки должны выбираться с учетом обеспечения заданной точности обработки детали и качества ее поверхности и получения максимально возможной стойкости, прочности и надежности инструмента.

Схема формообразования определяет закономерности относительного движения инструмента и заготовки без учета физических явлений, протекающих в зоне резания, и в первую очередь действующих сил и температур. Для этого кинематическую систему обработки резанием принимают абсолютно жесткой и не зависящей от тепловых воздействий. В процессе резания происходит перемещение режущего инструмента относительно заготовки. Движение резания является векторной суммой двух движений. Первое движение определяет скорость снятия материала срезаемого слоя и называется главным движением резания. Второе движение обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в срезаемый слой заготовки. Совокупность относительных движений инструмента и обрабатываемой заготовки, необходимых для получения заданной поверхности, определяет кинематическую схему обработки - схему формообразования. Изменение направления движения подачи - перемещение инструмента под углом к оси вращения заготовки - приводит к снижению точности поверхности, а резкое относительное увеличение скорости движения подачи - к формированию на поверхности обрабатываемой заготовки резбовой поверхности.

В соответствии с вышеизложенным наиболее рациональным методом конструирования высокоэффективного лентошлифовального инструмента является определенная ориентация с последующей жесткой заделкой частиц абразива на поверхности основы [5]. Ориентация частиц предполагает достижение такого положения частиц абразива, чтобы резание производилось наиболее острыми режущими кромками, образующимися относительно главной оси частицы, как показано на рис. 1.

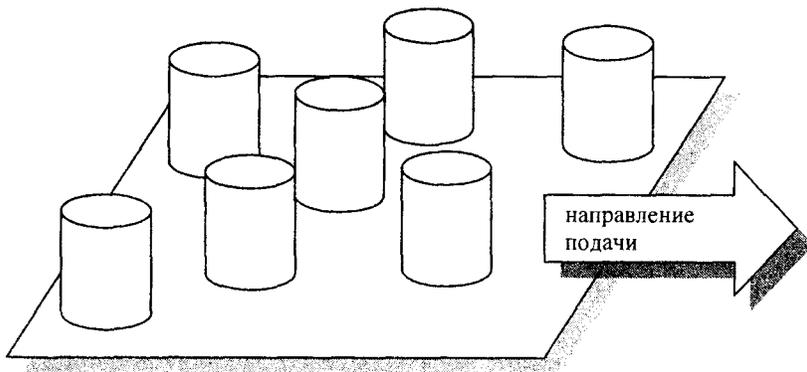


Рис. 1. Схема номинальной ориентации зерен абразива на поверхности основы

Указанная схема ориентации зерен абразива является номинальной, поскольку не учитывает основного требования, положенного в основу разработки нового лентошлифовального инструмента: разработка конструкции ленточного абразивного инструмента, максимально использующего преимущества метода лезвийной обработки - стабильность условий резания применительно к обработке различных конструктивных материалов.

В соответствии с этим допущением номинальной ориентации зерен абразива недостаточно для обеспечения стабильности условий резания материалов, различных по твердости, структуре и т.п.

Требуется дополнительная ориентация указанных частиц на определенный угол, величина которого задает наиболее рациональные режимы лезвийной обработки конкретного конструктивного материала. На это указывают и рациональные значения переднего угла резания, приведенные в справочной литературе [6]. На основании анализа данных следует сделать вывод о том, что унифицированного лентошлифовального инструмента, адекватного к обработке различных конструктивных материалов, быть не может. Диапазон измерения величины переднего угла имеет пределы от  $-10^\circ$  до  $+30^\circ$ . Это определяет диапазон регулируемой ориентации зерен абразива в лентошлифовальном инструменте.

Возможно два варианта реализации вышеописанных предпосылок:

- 1) изготовление ленто-шлифовального инструмента с номинальной ориентацией зерен абразива с последующей ориентацией самого инструмента относительно обрабатываемой поверхности;
- 2) изготовление лентошлифовального инструмента, зерна абразива в котором ориентированы на заданный оптимальный угол относительно поверхности резания.

Реализация первого варианта, помимо решения задачи номинальной ориентации зерен абразива относительно поверхности основы, потребует внесения существенных изменений в механизм подачи ленто-шлифовального станка, что в большинстве случаев является экономически нецелесообразным и технически трудновыполнимым.

Рациональным является реализация второго варианта, в соответствии с которым изготавливается лентошлифовальный инструмент, угол ориентации зерен абразива в котором устанавливается на стадии изготовления путем строго направленного осаждения зерен абразива на предварительно подготовленную поверхность основы. Сущность реализации указанного варианта решения задачи схематично показана на рис. 2.

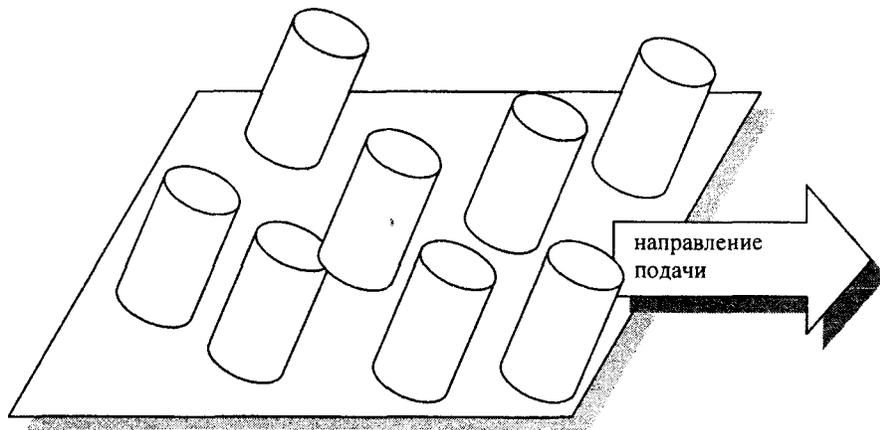


Рис. 2. Схема рациональной ориентации зерен абразива на поверхности основы

Реализация предложенной схемы позволит не только реализовать схему лезвийного резания со всеми ее преимуществами перед среднестатистической обработкой, но и позволит выходить с абразивными материалами средней твердости на обработку более твердых конструкционных материалов ввиду увеличения эффективного сечения абразивных частиц и уменьшения реального плеча силы резания вследствие более рациональной ориентации частиц абразива относительно плоскости резания. 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 эквивалента [7]. Указанное заключение основывается на оценке кинематики процесса резания специально ориентированными зёрнами абразива.

Рассматривая частицу абразива, участвующую в процессе абразивной обработки, можно рассчитать измерение площади фактического контакта в зависимости от изменения угла ее поворота относительно обрабатываемой поверхности в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

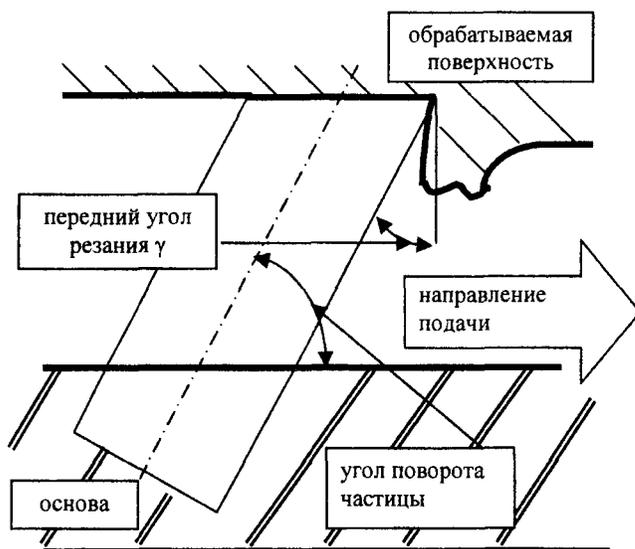


Рис. 3. Схема резания ориентированным зерном

Величина фактической площади контакта частицы изменяется в соответствии с соотношением

$$S_{op} = \frac{S_{ном}}{\cos \gamma},$$

где  $S_{op}$  – фактическая площадь контакта частицы, ориентированной под углом  $\gamma$  относительно основы;  $S_{ном}$  – площадь частицы абразива в плане;  $\gamma$  – передний угол резания, равный углу 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 рис. 4.

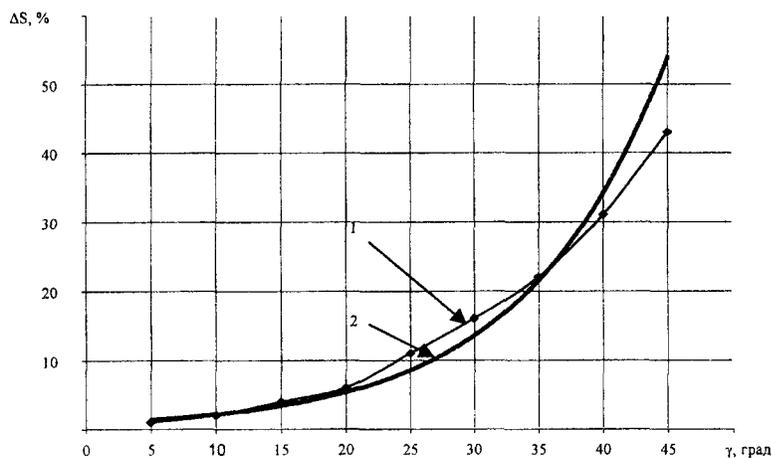


Рис. 4. Зависимость относительного приращения площади контакта частицы  $\Delta S$  от изменения угла  $\gamma$ :  
1 - экспериментальная зависимость; 2 - теоретическая зависимость

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

Результаты исследований и выводы. Анализируя результаты можно сделать вывод о том, что изменение угла ориентации зерен абразива относительно основы на  $20...40^\circ$  может привести к изменению фактической мощности резания и производительности шлифовальной обработки на  $30...40\%$ , что является весьма ощутимым резервом использования традиционных малододефицитных абразивных материалов для обработки твердых наплавов, сварных швов и т.п. Шлифовальная обработка лентошлифовальным инструментом с ориентированным положением частиц абразива позволит заменить обработку твердыми и дорогостоящими абразивными материалами на обработку малододефицитными материалами средней твердости в соответствии с полученной зависимостью.

В ходе разработки методики получения шлифовальной ленты с ориентированным зерном проделан анализ имеющихся способов ориентации. Из рассмотренных способов обработки выбран самый рациональный по ряду технико-экономических критериев способ нанесения абразива в электростатическом поле [8]. Проведены исследования физико-механических свойств абразивных материалов, ситовые и микроскопические исследования абразива, изучена физика процесса транспортирования частиц в электростатическом поле. Все 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 [9]. 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 технологию получения шлифовальной шкурки. Технология сохранила свое содержание, но получила развитие в способах ее ре-

лизации. 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 % [10]. 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 основу и покрытую требуемым клеевым составом, затем ленту сушат, наносят защитное покрытие и окончательно высушивают [11]. Процесс естественной (воздушной) сушки при температуре 18...20 °С лаковых покрытий абразивных лент весьма продолжителен (24 часа 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 малодефицитными материалами средней твердости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. - Саратов: Университет, 1987.- 117 с.
2. Завистовский С.Э. Конструкторско-технологическое обеспечение качества отделочно-абразивной обработки сложнопрофильных изделий // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Упрочнение, восстановление и ремонт на рубеже веков». - Новополоцк, 2001. - С. 657 - 660.
3. 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.
4. 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., г. Минск, 11-13 дек. 2002 г. - Мн., 2002. - С. 27 - 31.
5. 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.
6. Процессы и оборудование абразивно-алмазной обработки / Под ред. Б.И. Горбунова. - М.: Всесоюз. заоч. машиностроит. ин-т, 1977. - 276 с.
7. Завистовский С.Э., Кириенко А.С. Оценка случайных процессов при конструировании оптимального абразивного инструмента. - Мн.: Машиностроение, 2003. - Вып. 19. - С. 184 - 186.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Врезуб В.Н. Шлифование абразивными лентами. - М.: Машиностроение, 1972. - 104 с.