



Нечай Е. В.

Пичугин Н. И.

**Восточноукраинский
национальный
университет имени
Владимира Даля**

УДК 621.9.048

АНАЛИЗ ФИНИШНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В СРЕДЕ СВОБОДНЫХ АБРАЗИВОВ

У роботі проведено аналіз існуючих методів обробки деталей вільним абразивом. Показано, що шпиндельна камерна обробка деталей на сьогоднішній день є перспективним методом фінішної обробки.

Exists free abrasive treatment methods of details are analyzed. Perspectives of spindle treatment of details as modern method of finish treatment are shown.

«Использование приспособлений требуется только в тех случаях, когда без них невозможна эффективная вибрационная обработка...»

Шаинский М. Е.

В современном машиностроении все большее применение находят прецизионные изделия и детали, имеющие сложную конфигурацию, в то же время крупногабаритные и легкодеформируемые. В настоящее время финишная обработка сложнопрофильных поверхностей осуществляется, как правило, свободным абразивом. К наиболее часто используемым методам обработки свободным абразивом относятся следующие: галтовка, виброабразивная, турбоабразивная, магнитно-абразивная, гидроабразивная обработки, финишная обработка уплотненным потоком свободного абразива и др. В основном эти методы являются простыми и технологичными и используются для обработки широкой номенклатуры деталей. По показателям производительности и универсальности обработка деталей в среде свободных абразивов превосходит большинство традиционных способов с жесткой кинематической связью в системе СПИЗ.

Различают несколько технологических схем обработки деталей в среде свободного абразива. Наиболее распространена обработка деталей «в навал», но при обработке крупных и нежестких деталей обработка производится с установкой на приспособления.

Рассмотрим некоторые методы обработки деталей свободными абразивами.

Обработка во вращающихся барабанах (галтовочный метод)

Галтовка – метод обработки деталей в среде сыпучих тел, помещенных во вращающуюся рабочую камеру, перемещающихся относительно друг друга. Этот метод получил широкое распространение в промышленности, благодаря таким достоинствам, как:

– простота оборудования и его обслуживания [1, 2];

– одновременная обработка большого количества деталей [2, 3];

– недефицитность обрабатываемых сред [2];

– автоматическое протекание процесса обработки [2].

На галтовочном оборудовании, общий вид которого представлен на рис. 1, осуществляется удаление заусенцев, ржавчины, окалины, притупление кромок, улучшение шероховатости поверхности.

Схемы обработки разнообразны, но в основном это вращение цилиндрических или граненых барабанов вокруг вертикальной, горизонтальной или наклонной осей с загруженными в них деталями и обрабатывающей средой (рис. 2) [5].

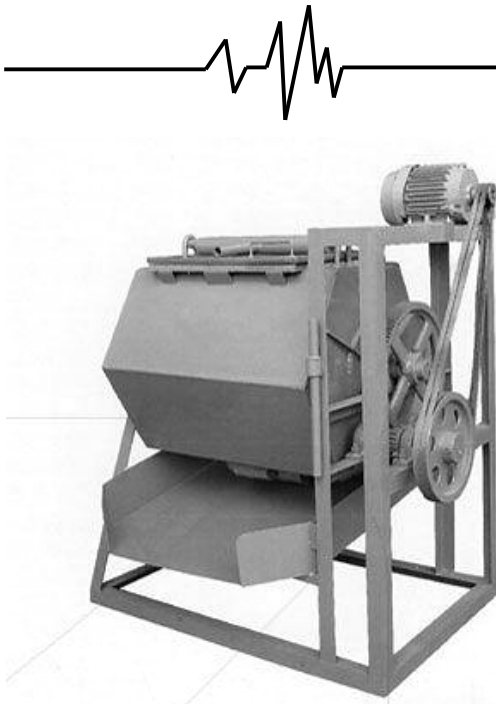


Рис. 1. Общий вид галтовочных барабанов [4]

Заготовки загружают в барабан вместе со шлифующим и полирующим материалами. Загрузочные люки плотно закрывают, и барабан приводится во вращение. Внутренняя часть барабана покрыта износостойкой резиной, что предохраняет обрабатываемые заготовки от вмятин и выбоин, а стальной корпус барабана от преждевременного износа.

В качестве инструмента при галтовочном методе используют абразивные материалы (бой абразивных кругов, гранулированный абразив, шлифовальные зерна и порошки) или различные наполнители – как металлические (стальные полированные шары), так и неметаллические (деревянные шары и кубики, обрезки кожи, войлока) различной формы и размеров [6].

К числу параметров, определяющих результаты обработки, относится скорость вращения барабана, его размеры, характеристика и размеры обрабатывающей среды, состав СОЖ. Важное значение имеет исходное состояние обрабатываемых заготовок и деталей.

Для интенсификации обработки детали могут быть установлены на оправках, которым сообщают дополнительное вращение в полости барабана (рис. 2, в, г) [5].

Несмотря на простоту реализации и широкие технологические возможности данного метода, ему присущи следующие недостатки:

– низкая производительность вследствие малых скоростей вращения галтовочного барабана [1, 3];

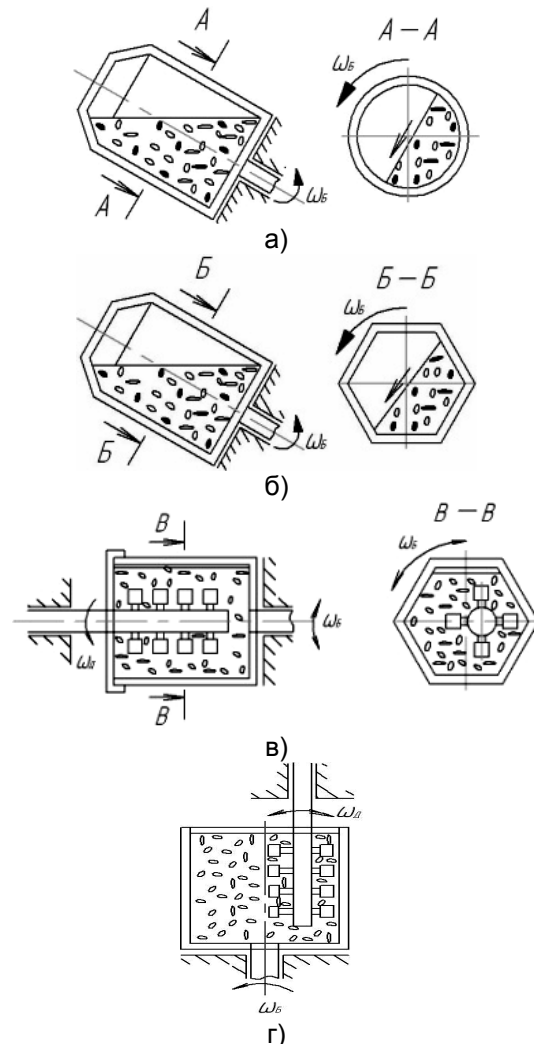


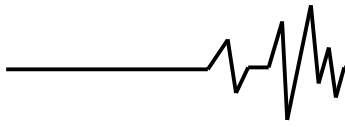
Рис. 2. Схемы обработки деталей галтовочным методом: а – галтовка в цилиндрическом барабане; б – галтовка в граненом барабане; в, г – обработка деталей, установленных на оправках, в галтовочных барабанах с вертикальной и горизонтальной осями вращения [5]

– сильный шум, возникающий во время обработки [1];

– большие дополнительные затраты времени, связанные с необходимостью разделения рабочей среды и заготовок, мойки заготовок и регенерации рабочей среды после завершения каждой галтовочной операции [1];

– невозможность обработки тонкостенных, хрупких и легко деформирующихся заготовок [1];

– исключена возможность одновременной обработки деталей разных геометрических размеров и веса, так как при соударении с дном барабана тяжелые детали будут деформировать или даже ломать более легкие [5];



–неравномерность съема металла с различных участков поверхностей деталей сложной формы, имеющих карманы, ниши и другие внутренние полости [3, 6].

Виброабразивная обработка деталей

Этот метод используется для обработки деталей широкой номенклатуры и размеров и применяется для выполнения таких операций, как очистка литых заготовок; удаление облоя; очистка от окалины и коррозии заготовок; скругление и полирование острых кромок; очистка и отделка поверхности для подготовки ее под гальванические и лакокрасочные покрытия; поверхностный наклеп; изменение остаточных напряжений; обработка деталей после определенного периода их эксплуатации (очистка от нагара и накипи, налипшего грунта) [7].

Сущность вибрационной обработки состоит в последовательном нанесении на поверхности обрабатываемых деталей большого числа микроударов гранулами шлифовального материала под действием направленных вибраций, сообщаемых рабочей камере [8].

Съем металла производится вследствие механического или механо-химического диспергирования мельчайших частиц металла и его окислов с обрабатываемой поверхности абразивными гранулами.

Схема вибрационной обработки приведена на рис. 3, а. Обрабатываемые детали 1 загружают в рабочую камеру 2, заполненную шлифовальным материалом и установленную на основании 3, подвешенном на пружинах 4. Рабочей камере сообщают от вибровозбудителя осциллирующие движения. Под действием вибрации детали и шлифовальный материал приходят в интенсивное относительное перемещение, совершая два вида движений: колебания и медленное вращение массива загрузки (циркуляционное движение). В процессе обработки детали переориентируются и проходят различные зоны рабочей камеры, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей [9].

К настоящему времени разработано и внедрено множество различных по конструкции вибрационных станков. Наиболее распространенный из них представлен на рис. 4 [10].

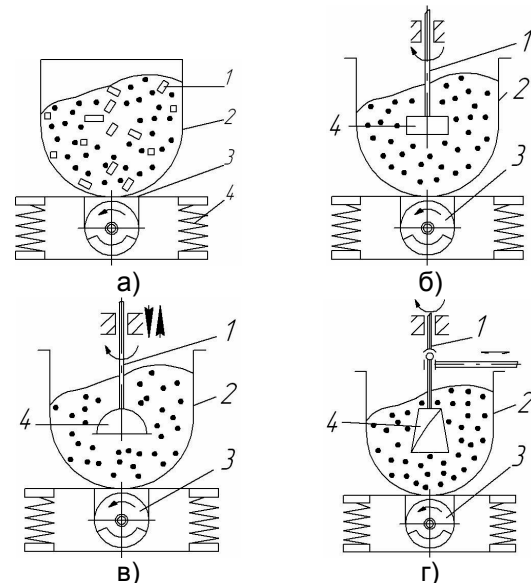


Рис. 3. Схемы вибрационной обработки деталей: а – обработка деталей «в навал»; б – г – шпиндельная виброобработка

В качестве рабочих сред применяют дробленые отходы шлифовальных кругов, гальку, дерево или дробь размерами 3-5 мм [5].

Процесс вибрационной обработки деталей, имеющих форму тел вращения (штулок, колец, зубчатых колес), осуществляется при помощи приспособлений. Деталь закрепляют на шпинделе станка и сообщают ей вращение с погружением в шлифовальный материал рабочей камеры виброустановки. Подобная обработка получила название шпиндельной вибрационной обработки. Схемы указанной обработки представлены на рис. 3, б, в, г [2].

В шпинделе станка закрепляют оправку 1 с обрабатываемыми деталями и погружают в камеру 2, получающую вибрации от привода 3. Обрабатываемым деталям 4, установленным на оправке, сообщают вращение, а на шлифовальный материал, находящийся в камере, воздействуют вибрациями. Вследствие высоких относительных скоростей деталей и шлифовального материала производительность шпиндельной виброобработки в 10...15 раз превышает обычный процесс виброобработки [8].

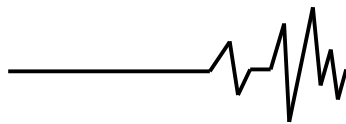


Рис. 4. Вибрационный станок с U-образной рабочей камерой фирмы Rösler [10]

Турбоабразивная обработка

Турбоабразивная обработка является финишным процессом обработки и позволяет удалять заусенцы, снимать окалину после термообработки, скруглять острые кромки, подготавливать поверхности детали под гальванопокрытие [11].

Способ основан на использовании техники псевдооживления сыпучих материалов и заключается в создании абразивного кипящего (псевдооживленного) слоя, в который погружают обрабатываемую заготовку, задавая в зависимости от ее формы различные виды движения (вращательное, планетарное и др.) [12].

Кипящий слой создается следующим образом. В емкость 4, дном которой служит газораспределительная решетка 5, насыпают слой шлифовального зерна, затем через распределительную решетку подают снизу вверх поток воздуха (рис. 5). Происходит уравнивание твердых абразивных частиц аэродинамическим давлением, при этом слой приобретает свойства жидкости, становится вязким и текучим.

Процесс обработки происходит за счет контактного взаимодействия абразивных частиц с поверхностью металла.

Для обработки используется шлифзерно зернистостью от 16 до 40 или их смеси [13].

Значительное увеличение интенсивности съема металла достигнуто путем сообщения заготовке вращательного движения вокруг собственной оси или планетарного. В этом случае съем металла в 200-300 раз выше, чем при неподвижной заготовке.

Обработка может производиться при горизонтальном расположении шпинделя и одностороннем вращении детали (рис. 5, а),

или при вертикальном положении шпинделя и реверсивном вращении детали (рис. 5, б).

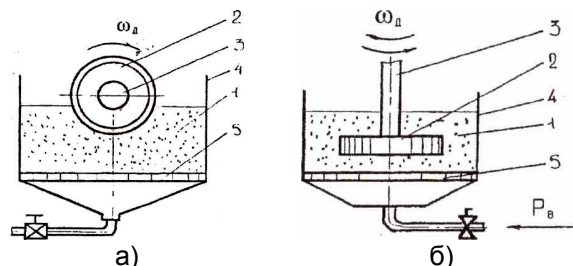


Рис. 5. Схемы турбоабразивной обработки:
а – одностороннее вращение детали;
б – реверсивное вращение детали

Способ может успешно применяться при финишной обработке нежестких, легкодеформируемых деталей. Однако интенсивность съема металла невелика вследствие малой величины контактного давления. Ограничена также возможность увеличения скорости относительного перемещения детали и абразива. При увеличении скорости перемещения детали свыше 20 м/с происходит образование у поверхности детали пограничного воздушного слоя, препятствующего соударению абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью. Поэтому этот способ отделочной обработки получил ограниченное применение при высоких требованиях к качеству поверхности, особенно закаленных деталей [12].

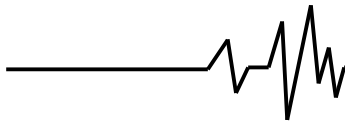
Общий вид установки приведен на рис. 6 [14].



Рис. 6. Турбоабразивная установка модели TF-522 [14]

Центробежно-ротационная обработка поверхностей деталей

Центробежно-ротационная обработка является одним из отделочно-упрочняющих



методов обработки. Она занимает особое место среди известных методов обработки деталей в среде свободного абразива. К основным преимуществам центробежно-ротационной обработки относятся [1, 15, 16, 17]:

– высокая производительность (по производительности превосходит галтовочную обработку в 10...30 раз, а вибрационную до 12,5 раз [18]);

– простое по конструкции оборудование;

– возможность одновременной обработки заготовок «в навал» большими партиями;

– возможность перехода от черновой обработки к чистовой путем изменения частоты вращения дна камеры без остановки процесса

– возможность механизации и автоматизации вспомогательных процессов и цикла обработки.

Сущность центробежно-ротационной абразивной обработки отражена на рис. 7, а. В рабочую камеру загружают обрабатывающую среду 3 и обрабатываемые детали 4 и приводят во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что вся масса загрузки приобретает форму тора [16].

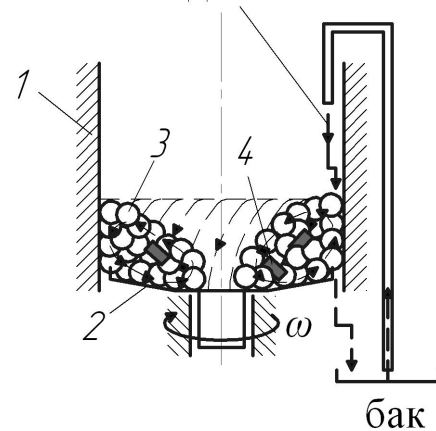
Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры, образованной неподвижной обечайкой 1 и примыкающим к ней коническим дном 2, выполненным в виде ротора с возможностью вращения вокруг собственной оси на подшипниковых опорах. Для уменьшения износа внутренние поверхности рабочей камеры покрывают износостойким материалом. Чаще всего используются резиновые или полиуретановые покрытия. Вращение дна обычно обеспечивается реверсивным электродвигателем или гидродвигателем [15]. Внутри камеры во время обработки подают СОЖ [1].

Обработка осуществляется за счет относительного перемещения и взаимодействия рабочей среды и обрабатываемых деталей. Таким способом могут обрабатываться детали различной геометрической формы и размеров, недеформируемые в тороидально-винтовом потоке.

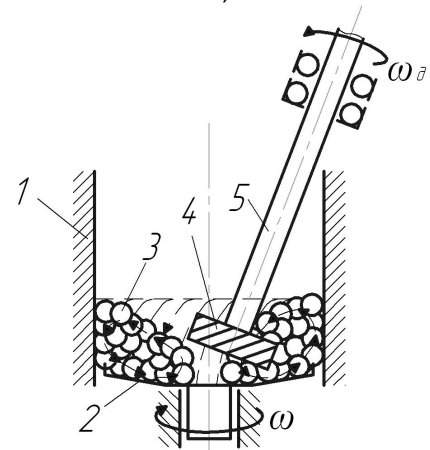
Угловую скорость вращения ротора назначают обычно в диапазоне 6..40 рад/с, а величина загрузки рабочей камеры не должна превышать 0,5..0,7 объема [19].

В работах [16, 17] приводится значительное количество факторов, влияющих на производительность и качество обработки, но большинство исследователей выделяют следующие основные:

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ



а)



б)

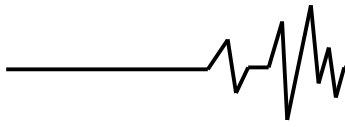
Рис. 7. Схемы центробежно-ротационной обработки деталей:

а) схема обработки деталей «в навал»;

б) схема шпиндельной центробежно-ротационной обработки детали

- угловая скорость вращения дна;
- угол наклона дна;
- характеристика рабочей среды;
- физико-механические свойства обрабатываемого материала;
- объем загрузки рабочей камеры;
- соотношение объемов обрабатываемых заготовок и обрабатывающей среды;
- время обработки;
- наличие и свойства технологической жидкости;
- исходная шероховатость заготовок и другие факторы.

Изменяя частоту вращения дна, изменяют высоту подъема загрузки. Траектория движения загрузки внутри валика



изменится, если применить стакан с гранеными стенками. Увеличение высоты образующегося валика загрузки и неоднородности его движения интенсифицируют удаление припуска [1].

Центробежно-ротационная обработка позволяет достичь шероховатости поверхности $Ra=0,28...0,35$ мкм, в зависимости от обрабатываемого материала, при исходной шероховатости $Ra=0,8...1,2$ мкм [19]. Наиболее интенсивное снижение шероховатости поверхности происходит в первые 30...40 с обработки [20]. Дальнейшее снижение шероховатости независимо от длительности обработки не происходит. Формируется однотонная поверхность без выраженных следов обработки.

Для повышения эффективности обработки деталей типа тел вращения применяется следующая схема. Обрабатываемая деталь 4 закрепляется в специальном шпиндельном приспособлении 5, вводится в рабочую среду, и ей сообщается вращательное движение (рис. 7, б). По такой схеме обрабатываются в основном детали типа тел вращения сложной геометрической формы (зубчатые колеса, турбинные колеса и др.) [18]. В зависимости от конфигурации деталей, их определенным образом ориентируют в зоне тороидального потока рабочей среды [17].

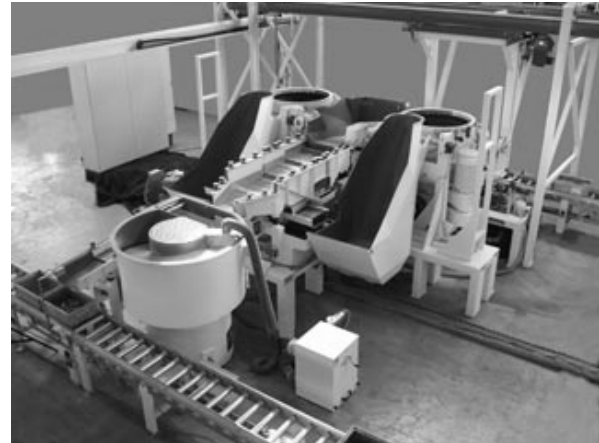
Угловую скорость вращения ротора устанавливают при шпиндельной обработке 80... 100 рад/с [19].

Центробежно-ротационные станки сравнительно просты по конструкции и состоят из рабочей камеры и устройств для выгрузки и сепарации обработанных деталей [18]. Кроме того, станки могут быть снабжены приспособлениями для шпиндельной обработки.

Работоспособность и эффективность данного оборудования в значительной степени зависят от конструктивного исполнения вращающейся и неподвижной частей камеры и надежности сопряжения этих частей между собой.

В настоящее время разработаны и находят промышленное применение различные конструкции станков, отличающиеся геометрией и габаритами рабочей камеры, схемой сопряжения ротора и обечайки, а также способом выгрузки и сепарации содержимого контейнера [10, 21, 22].

На рис. 8 приведена конструкция одного из них, предназначенного для обработки деталей широкой номенклатуры (от тонкостенных пружинных элементов до массивных деталей приводных механизмов).



а)



б)

Рис. 8. Центробежно-ротационный станок:
а) с системой 2-х загрузок Rösler [10];
б) станок фирмы OTEC [22]

Наряду с достоинствами метода центробежно-ротационной обработки ему присущи следующие недостатки:

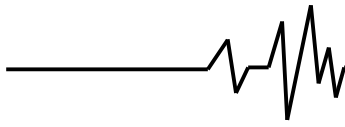
– высокий уровень износа рабочей среды и внутренних стенок рабочей камеры;

– невозможность обработки деталей сложной конфигурации;

– сложность конструкций уплотнений между вращающейся и неподвижной частями камеры, которые подвержены интенсивному износу;

– большие скорости и давления в тороидально-винтовом потоке ограничивают номенклатуру и массу обрабатываемых деталей;

– угловые скорости вращения ротора рабочей камеры должны быть вычислены либо определены экспериментально для образования тороидально-винтового потока;



– необходимость уменьшения застойных явлений на поверхности контакта дна рабочей камеры с массой загрузки.

Перечисленные недостатки сдерживают широкое внедрение этого способа обработки свободным абразивом.

Обработка деталей уплотненным абразивом

Сущность данного способа обработки заключается в следующем. Обрабатываемые детали 1 (рис. 9) устанавливаются и закрепляются на шпинделе 2 сверлильного станка, которому сообщают вращение вокруг собственной оси с угловой скоростью ω .

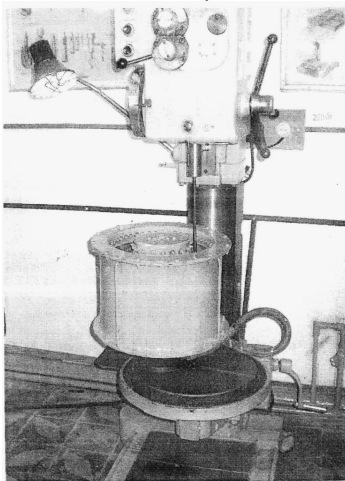
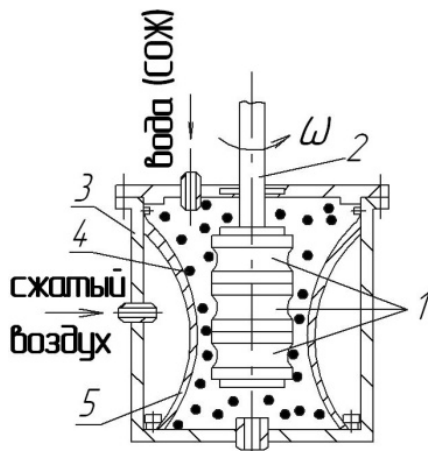


Рис. 9. Схема обработки деталей уплотненным абразивом и общий вид экспериментальной установки

Шпиндель с деталями вводится в камеру 3, заполненную абразивной массой 4. Сверху камера закрывается съемной крышкой. К внутренним эластичным стенкам 5 камеры прикладывается давление, под действием которого абразивная масса уплотняется и прижимается к обрабатываемым деталям. Для обновления абразивных зерен в зоне контакта

с деталями путем их перемешивания давление воздуха на стенки камеры периодически изменяется за счет деформации сжатым воздухом эластичных стенок 5 камеры. При этом можно в широком диапазоне регулировать давление абразива на детали и достигнуть требуемой производительности и качества поверхностного слоя при обработке материалов различных марок с разной поверхностной твердостью [19].

Из анализа описания существующих методов обработки деталей в свободном абразиве видно, что достичь высокой производительности и качества обрабатываемой поверхности крупногабаритных и легкодеформируемых деталей без применения приспособлений невозможно. Практически в каждом методе при обработке таких деталей используются приспособления, чаще всего приспособления типа «шпиндель», при котором деталь имеет самостоятельное движение со скоростью, соответствующей скорости движения шпинделя. В этом случае использование вибро-, центро- и других методов становятся дополнительными.

Учитывая частую и распространенную подобную обработку, возник отдельный метод – шпиндельная камерная обработка, что отражено на рис. 10.

Оборудование для реализации данного метода отличается простотой эксплуатации. Важной особенностью кинематики процесса является возможность использования сверлильных, радиально-сверлильных и агрегатных станков в качестве привода главного и дополнительного движений детали.

Для проведения обработки заготовки устанавливаются на специальных зажимных приспособлениях, закрепленных в шпинделе, который вращается с заданной скоростью и погружается в рабочую камеру с наполнителем (рис. 11).

Вследствие высоких относительных скоростей детали и наполнителя, создаваемых вращением шпинделя, происходит интенсивный съем мельчайших частиц металла с обрабатываемой поверхности. В случае необходимости могут добавляться движения камеры, в соответствии с ранее рассмотренными методами.

Широкие технологические возможности шпиндельной обработки в сочетании с высокой эффективностью ставят этот метод в число актуальных и перспективных методов отделочной обработки деталей. Он получил широкое развитие в таких странах, как Германия, США, Англия, Франция и ряде

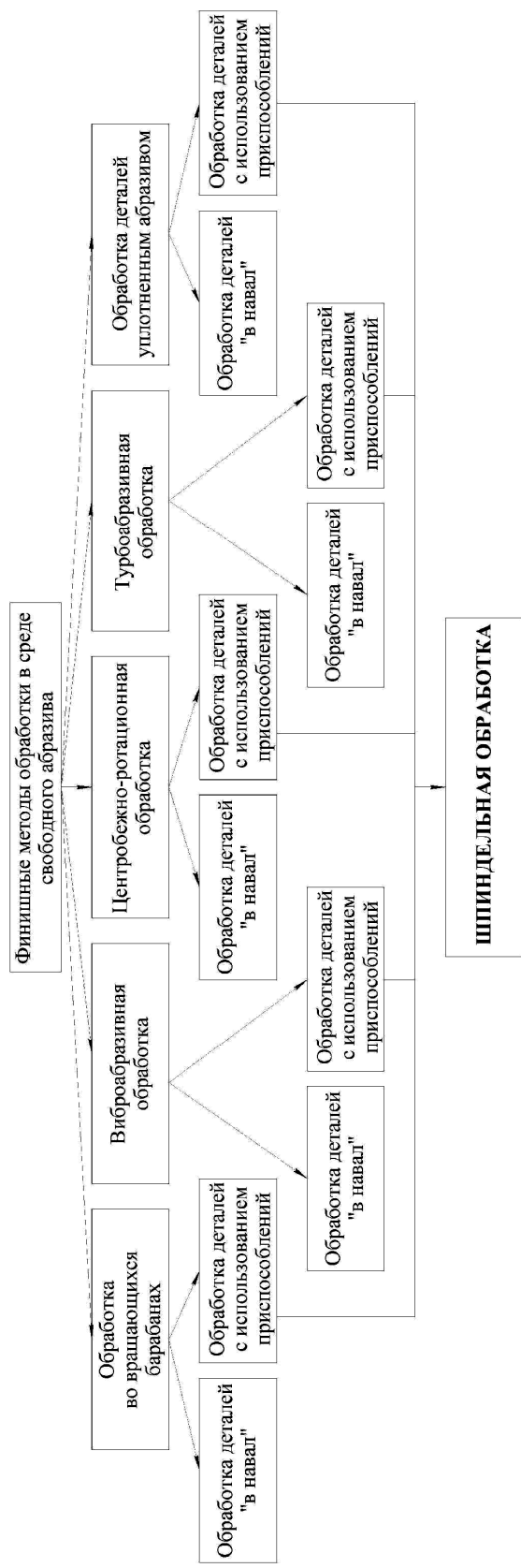
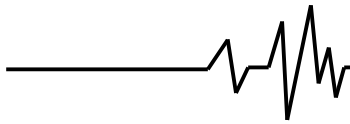
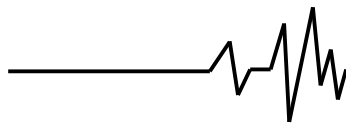


Рис. 10. Трансформация финишных методов обработки деталей в свободном абразиве в шпиндельную обработку



других стран с развитой промышленностью [10, 21, 22].

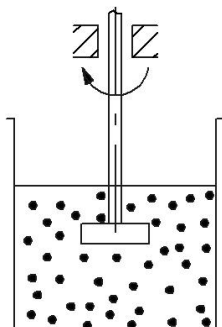


Рис. 11. Схема шпиндельной обработки деталей

Метод шпиндельной обработки деталей в абразивной среде может быть использован для механической обработки сложных и точных деталей из разнообразных материалов, таких, как кольца подшипников качения, шестерни и звездочки, червяки, винты, шкивы, режущие инструменты, лопатки турбин, имплантанты и др. [7, 17] (рис. 12).

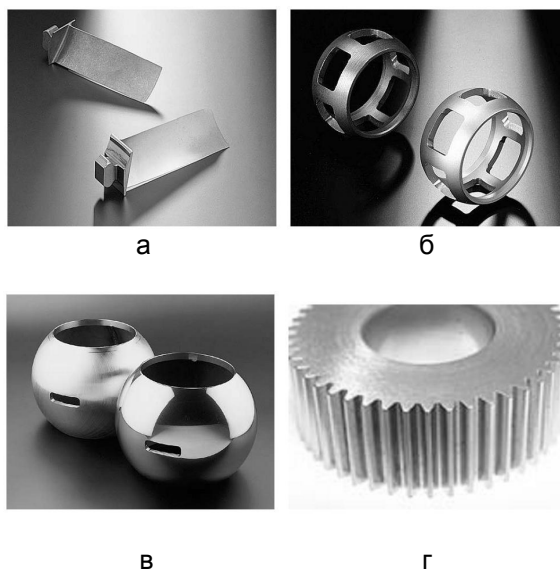


Рис. 12. Примеры обрабатываемых деталей из различных отраслей промышленности [6, 7]:

- а – лопатки турбин;**
- б – сепараторы шаровых шарниров;**
- в – клапаны шариковых кранов**
- г – зубчатые колеса**

Главное преимущество этого процесса – удаление заусенцев, скругление острых кромок, а также полировка заготовок за достаточно короткий промежуток времени без опасности повреждения заготовок.

Возможность изменения глубины погружения и скорости вращательного движения позволяют достигать съема материала, почти в 40 раз большего, чем при виброобработке [10]. Данный метод, по мнению создателей этого оборудования, совмещает качество обработки и высокую производительность.

Немаловажным фактором, влияющим на выбор данного оборудования, является возможность осуществления пакетной и многошпиндельной обработки.

В НИЛ «ОСА» проводились экспериментальные исследования на лабораторной установке Л25. В качестве объектов исследований использовались полые цилиндры из медно-цинкового сплава марки ЛС 59-1Л ГОСТ 2060-73 со следующим химическим составом: 0,97 % Pb, 58,52 % Cu, прочее – Zn.

При проведении экспериментальных исследований контролируемым параметром, характеризующим производительность процесса, выбран съем металла с поверхностей обрабатываемых образцов. Съем металла оценивался путем взвешивания образцов до и после обработки на аналитических весах типа ВЛА-200М с точностью до 0,0002 грамма.

В качестве образцов, подвергаемых обработке, использовались группы латунных втулок различного наружного диаметра и длины (рис. 13 и табл. 1).



Рис. 13. Образцы для проведения экспериментальных исследований

**Таблица 1
Параметры исследуемых образцов**

Параметры образцов	Номер группы образцов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Наружный диаметр, мм	16	16	16	16	12	10	10	10
Внутренний диаметр, мм	13	11	14	14	7	7	5	5
Высота, мм	20	10	10	5	20	20	15	5



Обработка проводилась на лабораторной установке, изготовленной на базе вертикально-сверлильного станка мод. BD13AV ($n_{шп.} = 600, 900, 1250, 1750, 2600$ об/мин.).

Влияние продолжительности обработки и скорости вращения детали на производительность процесса

Основными факторами, определяющими производительность шпиндельной обработки, являются продолжительность обработки и скорость движения детали.

На рис. 14 показаны результаты экспериментов по влиянию продолжительности обработки на съём металла с поверхности образцов.

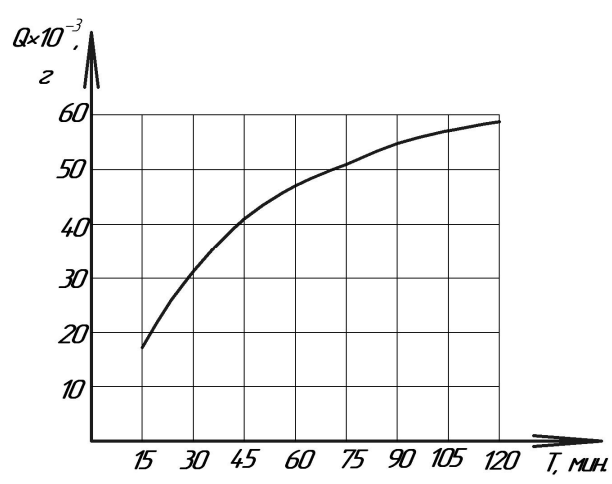


Рис. 14. Зависимость съема металла от продолжительности обработки (условия обработки: латунь ЛС-59; шлифовальный материал – формокорунд-цилиндр; $n=900$ об/мин.)

Исследования показали, что съём металла характеризуется высокой интенсивностью изменения в начальный период обработки и достаточно равномерным съёмом металла в дальнейшем. По мере увеличения времени обработки съём металла постепенно уменьшается, и дальнейшее увеличение продолжительности обработки не приводит к его изменению. Снижение интенсивности съема металла с увеличением времени обработки обусловлено удалением грубых неровностей исходной поверхности в первые минуты обработки, а дальнейший съём металла определяется только режущей способностью абразивных частиц и физико-механическими свойствами материала детали.

Основным движением при шпиндельной обработке является вращение обрабатываемой поверхности.

Анализ влияния скорости детали на интенсивность съема металла (рис. 15) показывает, что с увеличением скорости движения до определенной величины съём металла возрастает.

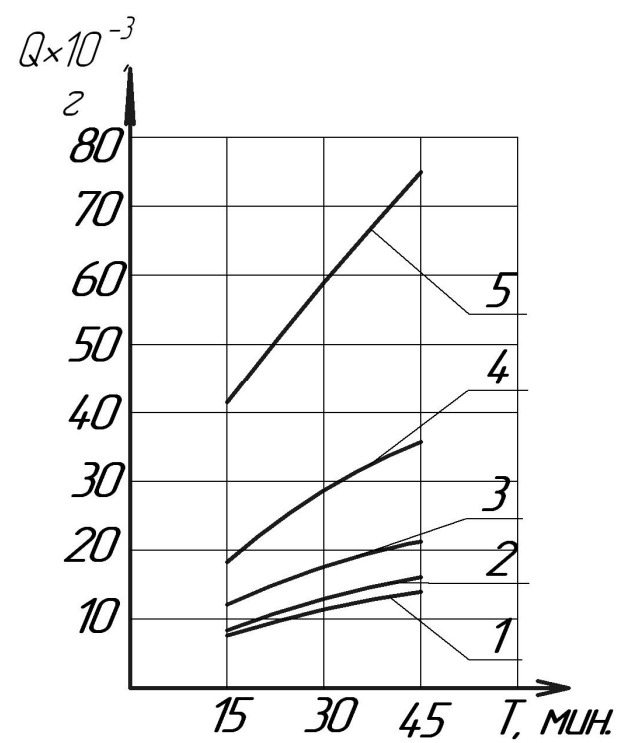
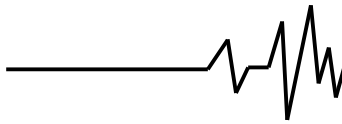


Рис. 15. Зависимость съема металла от частоты вращения детали (условия обработки: латунь ЛС-59; шлифовальный материал – формокорунд-цилиндр): 1 – $n = 600$ об/мин.; 2 – $n = 900$ об/мин.; 3 – $n = 1250$ об/мин.; 4 – $n = 1750$ об/мин.; 5 – $n = 2600$ об/мин.

Это объясняется тем, что с увеличением скорости возрастает интенсивность воздействия абразивных частиц на единицу площади обрабатываемой поверхности, а это приводит к увеличению съема металла при прочих равных условиях. В то же время при определенном значении скорости детали происходит уменьшение съема металла. Это обусловлено тем, что с увеличением скорости детали происходит уменьшение контактного давления абразивных частиц на обрабатываемую поверхность. Однако эта зависимость не выявляет полностью влияние скорости вращения детали на съём, поскольку при равном времени обработки и различных числах оборотов шпинделя поверхность



образцов проходит разный путь в абразивной среде.

Влияние абразивной среды на процесс обработки

Для качественной обработки сложнопрофильных поверхностей очень важным является подбор оптимальной абразивной среды. В первую очередь это связано с возможностью обтекания (одновременного контакта) элементами рабочей среды всей площади обрабатываемой детали. Поэтому исследования осуществлялись с использованием различных рабочих сред, обладающих высокой абразивной способностью, но имеющих в первую очередь различные размеры (рис. 16):

- формокорунд - цилиндр Ø 2x5...8 мм;
- формованные гранулы Московского абразивного завода (абразивные зерна электрокорунда на керамической связке) в виде трехгранных призм - ПТ-10 (с зернистостью 10...20 и связкой СТ по ТУ 2-036-205-73) с высотой призм 10 мм;
- шлифзерно (ГОСТ 3647-80);
- волжский песок.

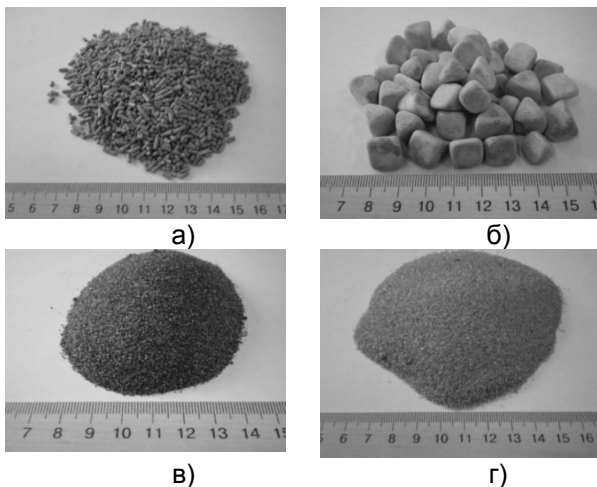


Рис. 16. Рабочие среды для обработки:
а – формокорунд - цилиндр Ø 2x5...8 мм;
б – ПТ-10; в – шлифзерно;
г – волжский песок

Данный выбор обусловлен тем, что различные производители инструмента и исследователи предлагают обрабатывать детали различными по размерам средами, а именно [4] – средой, размеры гранул которой соразмеримы с гранулами формокорунда, [10] – с ПТ-10, [21] – с шлифзерном.

При изучении влияния абразивной среды на интенсивность протекания процесса

оказалось, что обработка деталей в волжском песке неэффективна, и дальнейшие исследования по возможности его использования были прекращены. В то же время, несмотря на значительную массу единичной гранулы ПТ-10, по сравнению с формокорундом и шлифзерном, обработка не показала себя должным образом. Следовательно, в данном случае, в отличие от вибрационной обработки деталей в свободных абразивах, являющейся прототипом шпиндельной обработки, на съем металла преобладающее влияние оказывает не сила единичного взаимодействия гранулы с поверхностью, а скорость контакта общего потока гранул (зерен) с поверхностью детали (рис. 17).

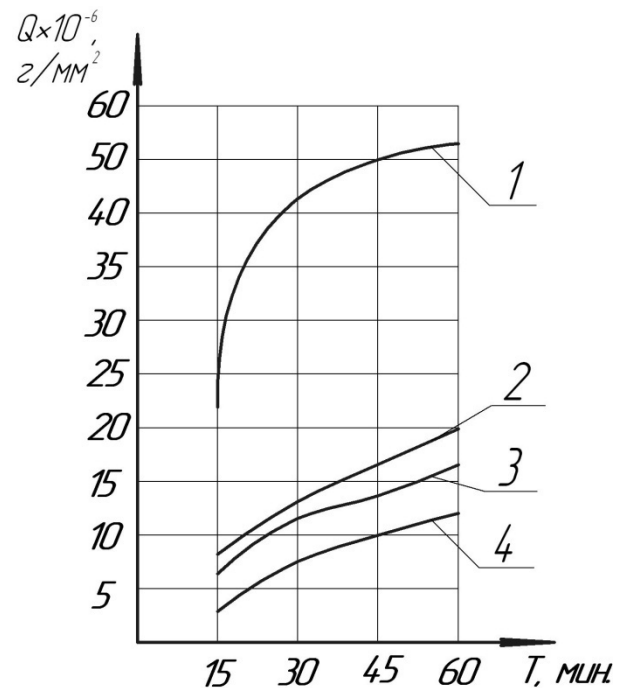
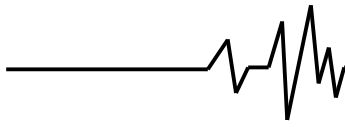


Рис. 17. Влияние абразивной среды на съем металла:
1 – шлифзерно; 2 – формокорунд – цилиндр; 3 – ПТ-10; 4 – волжский песок

Влияние конфигурации детали на равномерность обработки

Проведенные экспериментальные исследования показали, что на качество получаемой поверхности влияет конфигурация детали. Конфигурация сложнопрофильной детали имитировалась путем набора на оправку образцов различного диаметра. При наличии резких перепадов диаметров в форме созданного образца при неправильном подборе



абразивной среды на детали появляются необработанные участки (рис. 18), так как не всякий абразив имеет доступ к затененным участкам, а следовательно гранула не может соприкоснуться со всеми участками обрабатываемой поверхности. Поэтому при выборе среды отдается предпочтение абразиву, меньшему по размерам.

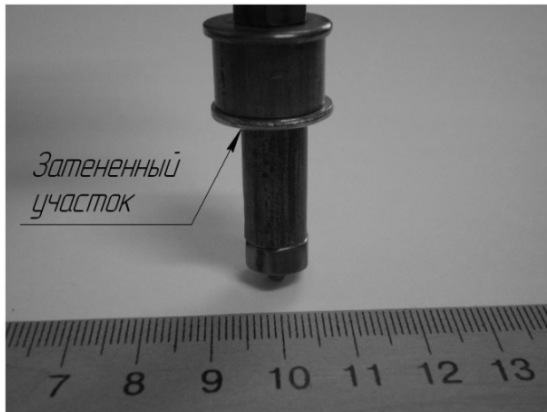


Рис. 18. Имитация детали сложного профиля

При этом следует отметить, что необработанные участки присутствуют как на деталях сложной формы, так и простой, но на определенных участках. При обработке деталей простой формы, возможно, данное явление возникает из-за достаточно высоких скоростей вращения шпинделя. Хотелось отметить, что в большинстве работ по изучению шпиндельной обработки, где обработка производилась с использованием сверлильного станка, исследователи не указывают на существование данной проблемы, с которой столкнулись авторы этой статьи и которая существует (рис. 19). Так, например, в работе [23] обработка происходила с частотой вращения шпинделя $n_{шп} = 800 \dots 4500$ об/мин, а в работе [19] указывается, что использовался вертикально-сверлильный станок 2А135 с частотой вращения $n_{шп} = 31 \dots 1400$ об/мин. Однако автор этой работы не указывает, на каких частотах производилась обработка, но предлагает для улучшения качества и производительности процесса производить поджатие рабочей среды, тем самым косвенно указывает на возникновение воздушного зазора в зоне контакта вращающейся детали со свободно загруженным в камеру абразивным зерном.

Из наблюдений при обработке на всех оборотах вращения шпинделя следует, что вращающаяся деталь отбрасывает абразивную среду от центра к стенке камеры, уплотняет ее,

создавая, таким образом, вокруг себя воздушную прослойку, при этом низкая текучесть рабочей среды не позволяет при используемых скоростях вращения вернуться ей на место, вследствие чего на детали образуются непрошлифованные участки. Следовательно, необходимо производить подбор режимов обработки, обеспечивающих производительный съем металла и формирование равномерного микрорельефа поверхности детали.



Рис. 19. Неравномерность обработки деталей

Влияние места расположения детали в камере на съем металла

Следует отметить, что большое значение имеет глубина погружения деталей при их обработке в свободных абразивах (вибраабразивная, центробежно-ротационная, турбоабразивная и другие методы) [19]. Для шпиндельной обработки это имеет особое значение, так как деталь, в отличие от вышеуказанных методов, где детали имеют возможность перемещаться по камере, жестко закреплена на шпинделе. В зависимости от глубины погружения обрабатываемой детали в рабочую камеру изменяется съем металла. Схема обработки приведена на рис. 20.

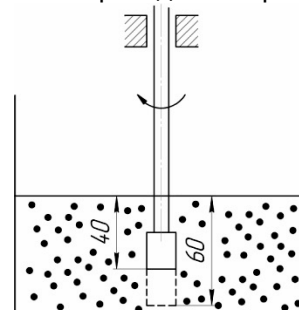


Рис. 20. Принципиальная схема для определения влияния глубины погружения детали на съем металла на лабораторной установке

На графике (рис. 21) приведены результаты исследований по обработке образцов с различной глубиной погружения, из которых следует, что с изменением глубины на 50 % – 20 мм съем увеличивается в 1,5 – 2 раза. А, следовательно, для изделий со значительными размерами, съем и формирование микрорельефа будет происходить неравномерно по высоте детали, что необходимо учитывать при разработке технологии шпиндельной обработки.

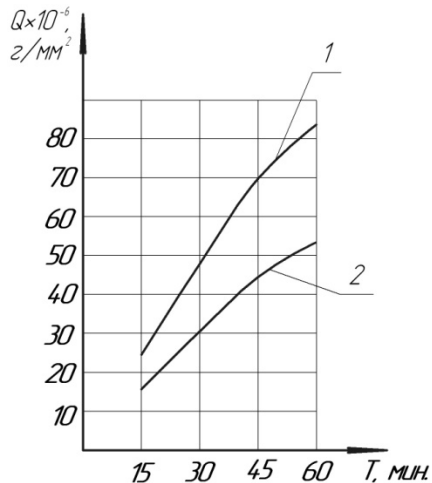


Рис. 21. Влияние глубины погружения детали на съем металла:
1 – заглубление детали на 60 мм;
2 – заглубление детали на 40 мм

Однако в большинстве работ, и в том числе в информации, распространяемой фирмами RÖSLER, WALTHER TROWAL [10, 21] и т.д., не указывается, что глубина погружения деталей в рабочую среду оказывает немаловажное влияние на технологический результат (возможно, в их случае требуется в первую очередь создание декоративного поверхностного слоя). В качестве предполагаемого решения ликвидации влияния глубины погружения на качество поверхности следует добиваться погружения детали на одинаковую глубину, что можно достичь, например, маятниковым движением шпинделя, созданием дополнительного движения камеры или среды и рядом других конструктивных решений.

Также немаловажно нахождение деталей в различных зонах по поперечному сечению рабочей камеры. Исследования были проведены для одних и тех же образцов, одинаковых по форме, размерам и массе. Результаты проведенных экспериментальных исследований приведены на рис. 22.

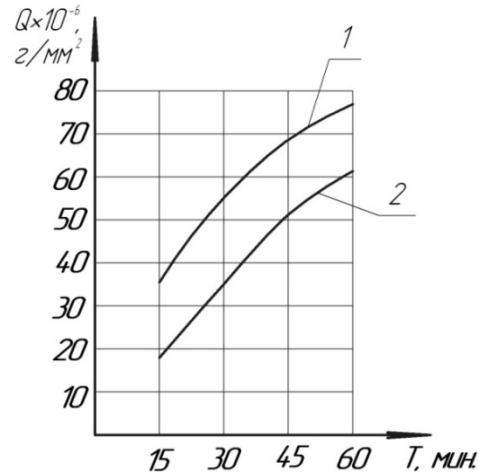


Рис. 22. Влияние положения детали по периметру камеры на съем металла:
1 – на периферии камеры;
2 – в центре камеры

Как видно, сдвиг по поперечному сечению камеры от центра к ее периферии на 75% увеличивает съем в 2,5 – 3 раза. Это можно объяснить тем, что давления, создаваемые в различных зонах камеры различны, а следовательно, в процессе обработки должно меняться место положения детали в камере. Установлено, что это явление сказывается на обработке деталей сложной конфигурации, а именно: выступающие их участки обрабатываются более интенсивно. Следовательно, для производительной обработки необходимо создание планетарного движения вдоль камеры с дополнительным движением, о котором говорилось выше, что отображено на рис. 10. Данное усложнение конструкции станка для шпиндельной обработки будет способствовать не только повышению интенсивности, но и созданию равномерного съема металла с соответствующим микрорельефом обрабатываемой поверхности.

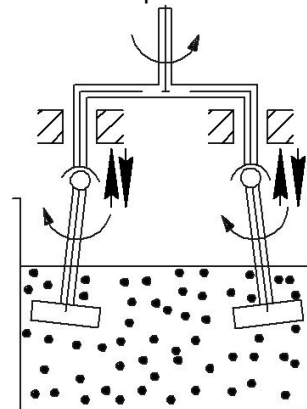
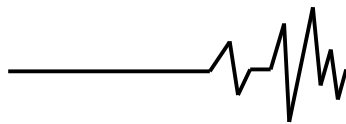


Рис. 23. Модернизированная схема для шпиндельной обработки деталей

**Выводы:**

1. Установлено, что при шпиндельном методе обработка изделия происходит неравномерно и зависит от его глубины погружения и места положения по периметру камеры:

– изменение глубины погружения детали всего лишь на 20 мм приводит к увеличению съема в 1,5 – 2 раза;

– съем с образцов, расположенных на периферии камеры, в 2,5 – 3 раза выше, чем с образцов, расположенных в центре контейнера.

2. С уменьшением размера абразивной среды интенсивность обработки возрастает в 2,5 – 3,5 раза.

3. Установлено, что для обработки деталей, имеющих сложную конфигурацию, в том числе затененные участки, необходим подбор абразивной среды, обеспечивающей контакт в этих зонах.

4. Установлено, что наиболее интенсивно происходит обработка выступающих участков профиля деталей сложной формы.

5. Предложены пути ликвидации недостатков, возникающих при шпиндельной обработке, по схеме, представленной на рис. 1, г, путем конструкторских решений, предложенных на рис. 23.

Литература

1. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов / Под ред. М.А. Шатерина. – СПб.: Политехника, 2005. – 597 с.: ил.

2. Справочник инженера-технолога в машиностроении / А.П. Бабичев и др. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. – 541 с.

3. Шлифование и зачистка деталей в барабанах / Б.П. Романов, М.Н. Гребенюк, А.С. Коряжнов и др. – В сб. Технология и автоматизация производственных процессов в машиностроении, – Пенза.: Пензенский политехнический ин-т, 1978. – с. 64 – 67.

4. <http://www.galtovka.ru/>

5. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А. Отделочно-зачистная обработка деталей. – М., Машиностроение, 1979, 216 с.

6. Гибкие автоматизированные гальванические линии: хрестоматия / сост.: А.Е. Новиков, А.Б. Даринцева – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006. – 221 с.

7. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / Бабичев А.П.,

Бабичев И. А. – Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.

8. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии: Учебное пособие. Ч.1. Ростов-на-Дону. ДГТУ. 1993. 98 с.

9. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей. М.: Машиностроение, 1974.

10. <http://www.rosler.com/>

11. Кремень З.И. Турбоабразивная обработка деталей – новый способ финишной обработки / З.И.Кремень, М.Л. Масарский // Вестник машиностроения. – 1977. – №28. – С. 68 - 70.

12. Машиностроение.

Энциклопедия: в 40 т. / [Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др.]. – М.: Машиностроение, 2000 – . – Т. 3: Технология изготовления деталей машин / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. 2002. – 840 с.

13. Богуслаев В.О. Технология виробництва авіаційних двигунів: Ч. 3. Методи обробки деталей авіаційних двигунів / Богуслаев В.О., Качан О.Я., Яценко та ін. – Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2008. — 639 с.

14. <http://www.turbofinish.com/>

15. Тамаркин М.А., Тищенко Э.Э. Повышение качества поверхностного слоя деталей при отделочно-упрочняющей обработке в гранулированных средах / Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров» Международного научного симпозиума «Автотракторостроение – 2009». Книга 7, Москва, МГТУ «МАМИ», 2009 г., 257 с. с. 210-220.

16. Трилисский В.О., Бурштейн Н.Е., Алферов В.И. Объемная центробежно-ротационная обработка деталей: Обзор. – М.: НИИМаш, 1983. – с. 52, ил.27.

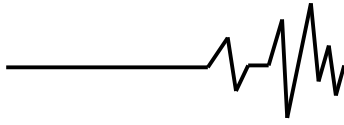
17. Чирков О. И.

Совершенствование технологии шпиндельной центробежно-ротационной обработки деталей: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Чирков Олег Игоревич; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2005. – 197 с.

18. Трилисский В.О. Технология и оборудование для объемной центробежно-ротационной обработки деталей / В.О.Трилисский, В.П. Вейнов, В.В.Панчурин. – М., 1989. –40 с.

19. Зверовщиков А. В.

Совершенствование технологии шпиндельной обработки деталей при уплотнении шлифовального материала внешним



давлением: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Зверовщиков Анатолий Владимирович; Пензенский гос. ун-т. – Пенза, 2004. – 270 с.

20. Юдин В.Л. Влияние технологических факторов на микрогеометрию поверхности при отделочной центробежно-ротационной обработке/ В.Л. Юдин, В.В.Панчурин// Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: Межвуз. сб. научн. тр.- Пенза: Пенз. политехи, ин-т, 1989, -Вып.17.-С.126-129.

21. WALTHER TROWAL! [Электронный ресурс]: Produkte/Gleitschleiftechnik. – Режим доступа: [\[trowal.de/de/produkte/gleitschleiftechnik/\]\(http://www.trowal.de/de/produkte/gleitschleiftechnik/\), свободный. – Загл. с экрана.](http://www.walther-</p></div><div data-bbox=)

22. Willkommen bei OTEC [Электронный ресурс]: Tellerfliehkraftanlagen/Serie CF. – Режим доступа:

<http://www.otec.de/typo3cms/tellerfliehkraftanlage.html>, свободный. – Загл. с экрана.

23. Георгиев В.М. Исследование шпиндельной виброотделки наружных поверхностей деталей тел вращения: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Георгиев Виктор Михайлович; Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения. – Ростов-на-Дону, 1978. – 192 с.