



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];

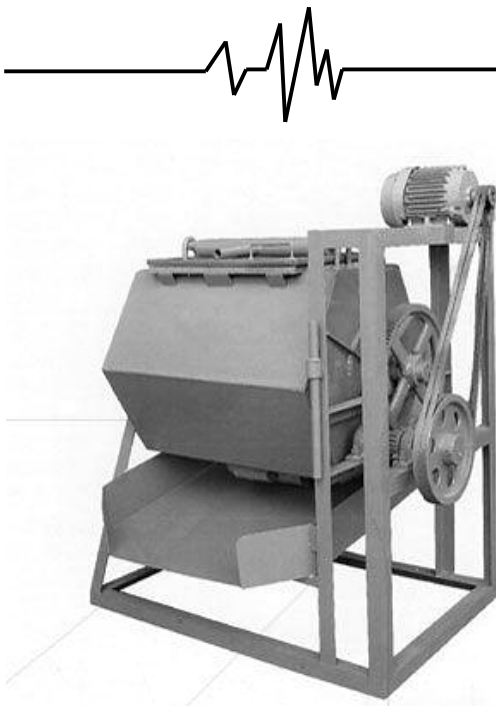
– одновременная обработка большого количества деталей [2, 3];

– 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.

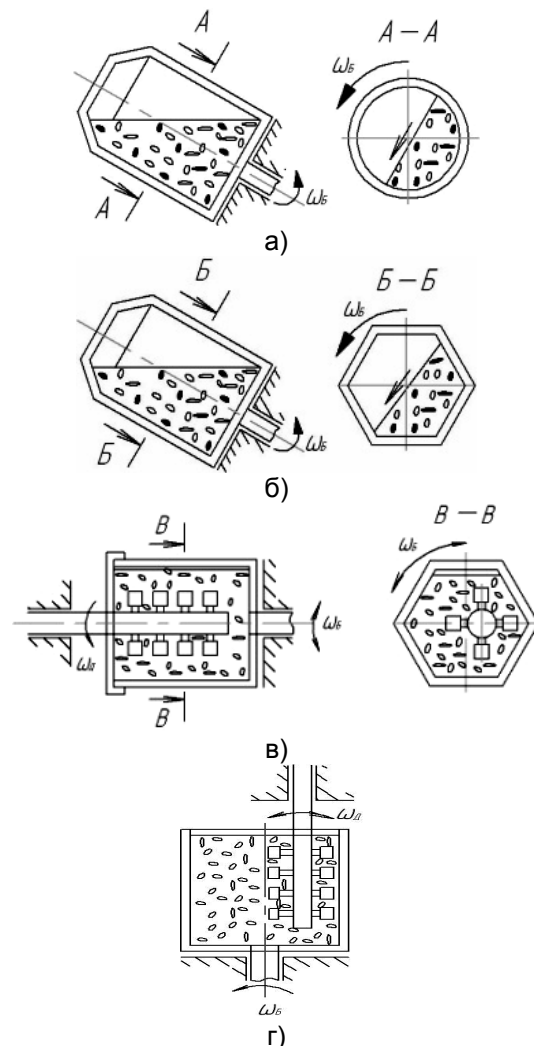
В качестве инструмента при галтовочном методе используют абразивные материалы (бой абразивных кругов, гранулированный абразив, шлифовальные зерна и порошки) или различные наполнители – как металлические (стальные полированные шары), так и неметаллические (деревянные шары и кубики, обрезки кожи, войлока)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



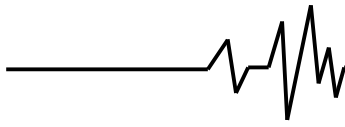
**Рис. 2. Схемы обработки деталей галтовочным методом: а – галтовка в цилиндрическом барабане; б – галтовка в граненом барабане; в, г – обработка деталей, установленных на оправках, в галтовочных барабанах с вертикальной и горизонтальной осями вращения [5]**

– 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

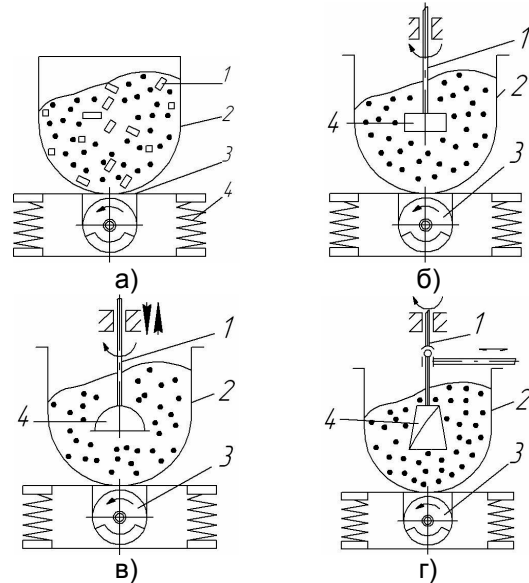
Этот метод используется для обработки деталей широкой номенклатуры и размеров и применяется для выполнения таких операций, как очистка литых заготовок; удаление облоя; очистка от окалины и коррозии заготовок; скругление и полирование острых кромок; очистка и отделка поверхности для подготовки ее под 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].

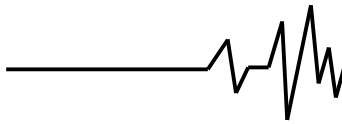


Рис. 4. Вибрационный станок с U-образной рабочей камерой фирмы Rösler [10]

### 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).

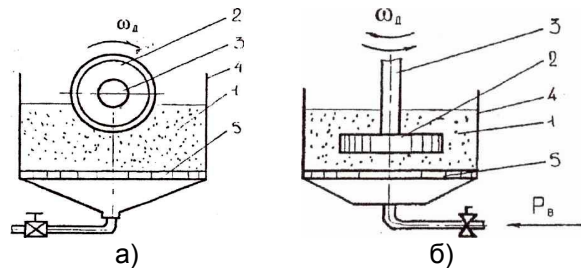


Рис. 5. Схемы турбоабразивной обработки:  
а – одностороннее вращение детали;  
б – реверсивное вращение детали

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].

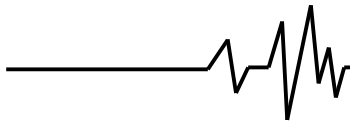
Общий вид установки приведен на рис. 6 [14].



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].

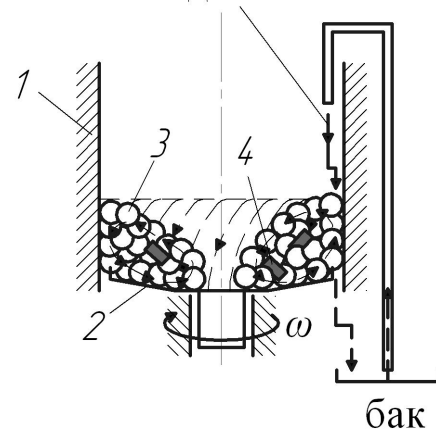
Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры, образованной неподвижной обечайкой 1 и примыкающим к ней коническим дном 2, выполненным в виде ротора с возможностью вращения вокруг собственной оси на подшипниковых опорах. Для уменьшения износа внутренние поверхности рабочей камеры 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.

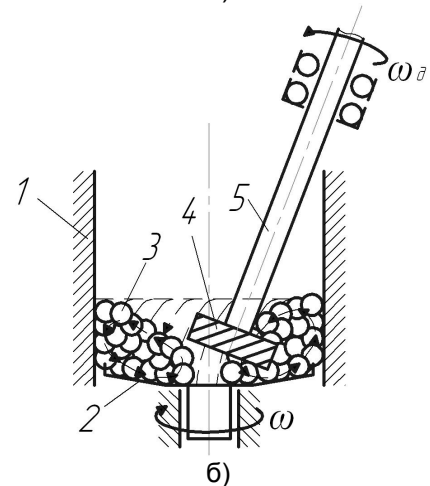
Угловую скорость вращения ротора назначают обычно в диапазоне 6..40 рад/с, а величина загрузки рабочей камеры не должна превышать 0,5..0,7 объема [19].

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

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ



а)



б)

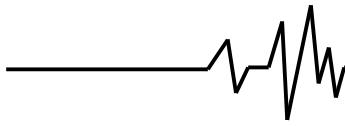
**Рис. 7. Схемы центробежно-ротационной обработки деталей:**

**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:

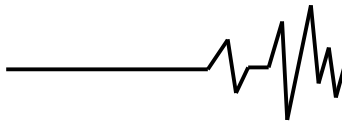
– высокий уровень износа рабочей среды и внутренних стенок рабочей камеры;

– 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;

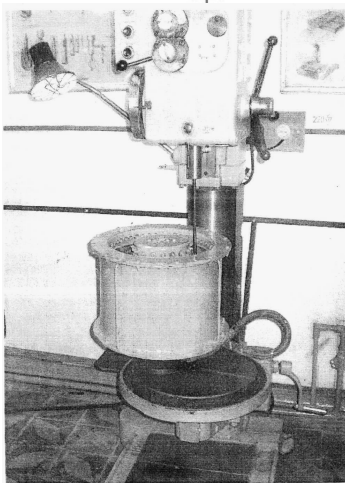
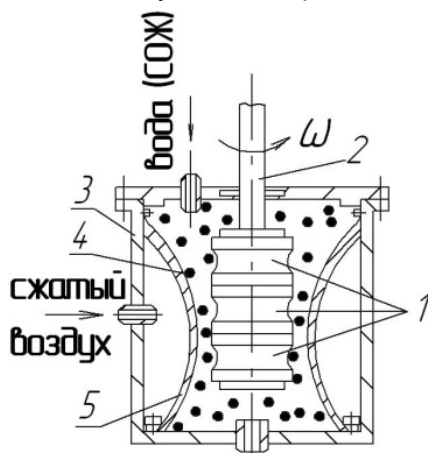


– необходимость уменьшения застойных явлений на поверхности контакта дна рабочей камеры с массой загрузки.

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  $\omega$ .



**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

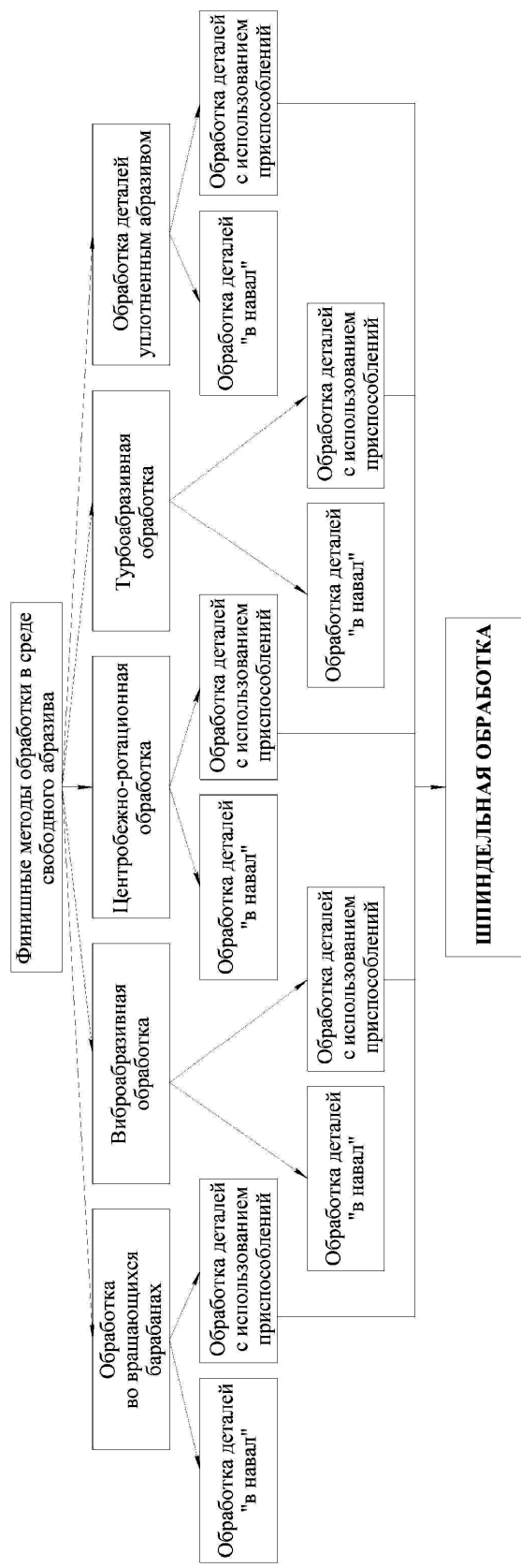
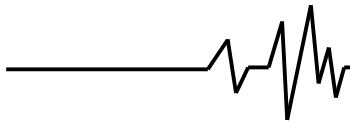


Рис. 10. Трансформация финишных методов обработки деталей в свободном абразиве в шпиндельную обработку