

Бурлакова Г. Ю.

Мелконов Г. Л.

**Восточноукраинский  
национальный  
университет имени  
Владимаир Даля**

УДК 621.9.048

## **ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ, СКЛОННЫХ К СЛИПАНИЮ**

*У статті проведений аналіз можливості застосування вібраційної обробки для деталей дрібних і плоских, які при обробці у вібруючих контейнерах у навал мають схильність до злипання в пакети і налипання на стінки контейнера. Приведені конструкторські і технологічні рішення по ліквідації проблеми злипання і налипання даних деталей з постановкою завдання для подальших досліджень.*

*Possibility of application of oscillation treatment for details shallow and flat, which have a sense to clinging in packages and sticking on the walls of container in time of vibrating process are analyzed in the article. Designer and technological decisions for liquidation of problem of clinging and sticking of these details are resulted, tasks for further researches are set.*

«... В третью группу входят детали ... плоские, тонкостенные, имеющие склонность к слипанию... Детали, входящие в последнюю группу, не всегда могут быть полностью обработаны на вибрационных машинах...»

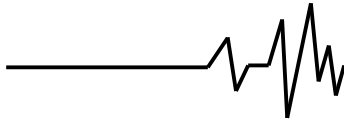
*Шаинский М. Е.*

Отделочно-зачистная обработка поверхностей деталей, целью которой является очистка деталей, снятие заусенцев, скругление острых кромок, подготовка поверхностей под покрытия - их шлифование и полирование, применяется во всех отраслях промышленности, особенно широко в машиностроении и приборостроении. Анализ производства деталей машин различных отраслей машиностроения показал, что различным видам отделочной обработки подвергают 85-95% выпускаемых деталей, при этом трудоемкость этих операций составляет 10-20% общей трудоемкости изготовления деталей [1].

В работе [2] отмечается, что доля отделочно-зачистных операций мелких деталей (массой 0,3...20 г с наибольшим габаритным размером 30 мм) составляет в общем по машиностроению 6-70% трудоемкости их изготовления. При этом в большинстве случаев эти операции выполняются вручную или при помощи средств малой механизации, что не отвечает требованиям современного производства. Механизация отделочно-зачистных операций

является одним из важнейших вопросов современного производства. Особенно остро эта проблема стоит на предприятиях, связанных с обработкой мелких плоских деталей сложной конфигурации из черных и цветных металлов. Наиболее распространенными методами, позволяющими решать проблемы механизации и автоматизации отделочно-зачистной обработки, являются методы обработки свободными абразивами, к которым относятся: обработка во вращающихся барабанах, объемная виброабразивная, центробежно-ротационная, магнитоабразивная, обработка свободным абразивом, уплотненным инерционными силами, турбоабразивная, струйно-абразивная. Последнее время находят применение также различные комбинированные методы обработки свободными абразивами.

Общим для всех этих методов является отсутствие жесткой кинематической связи в технологической системе (станок – приспособление – инструмент – заготовка) и возможность одновременной обработки большого количества деталей различных форм



и размеров. Из-за своих свойственных только этим методам особенностей производительность обработки отличается в десятки раз [3-7]. Причем некоторые методы, например, из-за сложного конструкционного решения схемы оборудования [3, 4, 8] не получили широкого промышленного внедрения.

Анализ существующих методов отделочно-зачистных операций показал, что ни один из них не может быть эффективно использован при обработке мелких плоских деталей сложной конфигурации. Из рассмотренных методов предпочтительными для обработки мелких деталей являются центробежно-ротационный и гидроабразивный, но они применяются для очень мелких деталей от десятых грамма до 20 г.

На сегодняшний день наибольшее распространение как в Украине, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья получила объемная вибрационная обработка.

Суть объемной виброабразивной обработки состоит в том, что обрабатываемые детали с абразивными телами помещают в контейнер, которому сообщается колебательное движение с определенной частотой. За счет взаимного относительного перемещения и давления абразивных гранул и деталей, вызванных колебаниями контейнера, происходит снятие микрочастиц металла с обрабатываемых поверхностей.

Однако к недостаткам этого метода следует отнести то, что мелкие плоские детали при виброобработке собираются в труднообрабатываемые пакеты, т.е. слипаются, в результате чего поверхности ряда деталей остаются необработанными. На эту проблему неоднократно указывалось в работах [5, 9, 10] и на сайтах [11, 12].

Поэтому актуальность данной темы определяется отсутствием равномерной обработки поверхностей плоских деталей из-за их слипания в пакеты при наличии в массе загрузки жидкости.

Соответственно этому актуальной научно-технической задачей применительно к вибрационной обработке является разработка методов, способствующих расширению ее возможностей за счет эффективной обработки мелких плоских деталей путем изменения функций рабочей среды, а именно функций как инструмента по обработке и приспособления для разделения слипшихся деталей.

Универсальные возможности метода обработки деталей свободными абразивами в вибрирующем контейнере обеспечили ему широкое распространение среди существующих способов обработки на

очистных, шлифовальных, полировальных и других операциях [5, 13, 14].

Как указывалось выше, вибрационная обработка представляет собой процесс съема металла с обрабатываемых поверхностей деталей зернами абразивных гранул рабочей среды, которым сообщаются колебания по определенному закону. Обработка происходит в результате последовательного нанесения на поверхность обрабатываемых деталей множества микроударов гранулами рабочей среды при их соударении с деталями или при их взаимном проскальзывании под воздействием силовых импульсов, передаваемых рабочей среде от вибровозбудителя вибрационного станка. В результате этого на поверхности детали образуются бороздки, а при прямых соударениях гранул и детали – лунки, совокупность которых и определяет объем снимаемого металла, микрорельеф и физико-механические свойства поверхности.

Виброабразивная обработка в зависимости от состава рабочей среды представляет собой механический и механо-химический процесс съема мельчайших частиц металла, окислов, пластического деформирования микронеровностей, как уже выше указывалось, вследствие взаимных соударений гранул с обрабатываемой поверхностью, вызванных колебаниями контейнера. Соударения осуществляются под различными углами от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

Таким образом, процесс вибрационной обработки представляет собой сложный комплекс физико-механических и химических явлений, оказывающих существенное влияние, в первую очередь, на состояние поверхностного слоя обрабатываемого изделия.

Рассматривая сущность процесса, следует отметить, что обработка поверхности происходит внедрением в нее выступающих из связки гранул абразивных зерен, сами же гранулы в этом колебательном процессе сравнительно слабо связаны между собой. При этом зерна одной и той же гранулы в зависимости от ориентации при перемещении гранулы относительно обрабатываемой поверхности могут осуществлять микрорезание, пластическое или упругое вытеснение материала или не участвовать в работе.

Характер физико-механических и химических явлений при вибрационной обработке зависит от следующих условий (рис. 1).

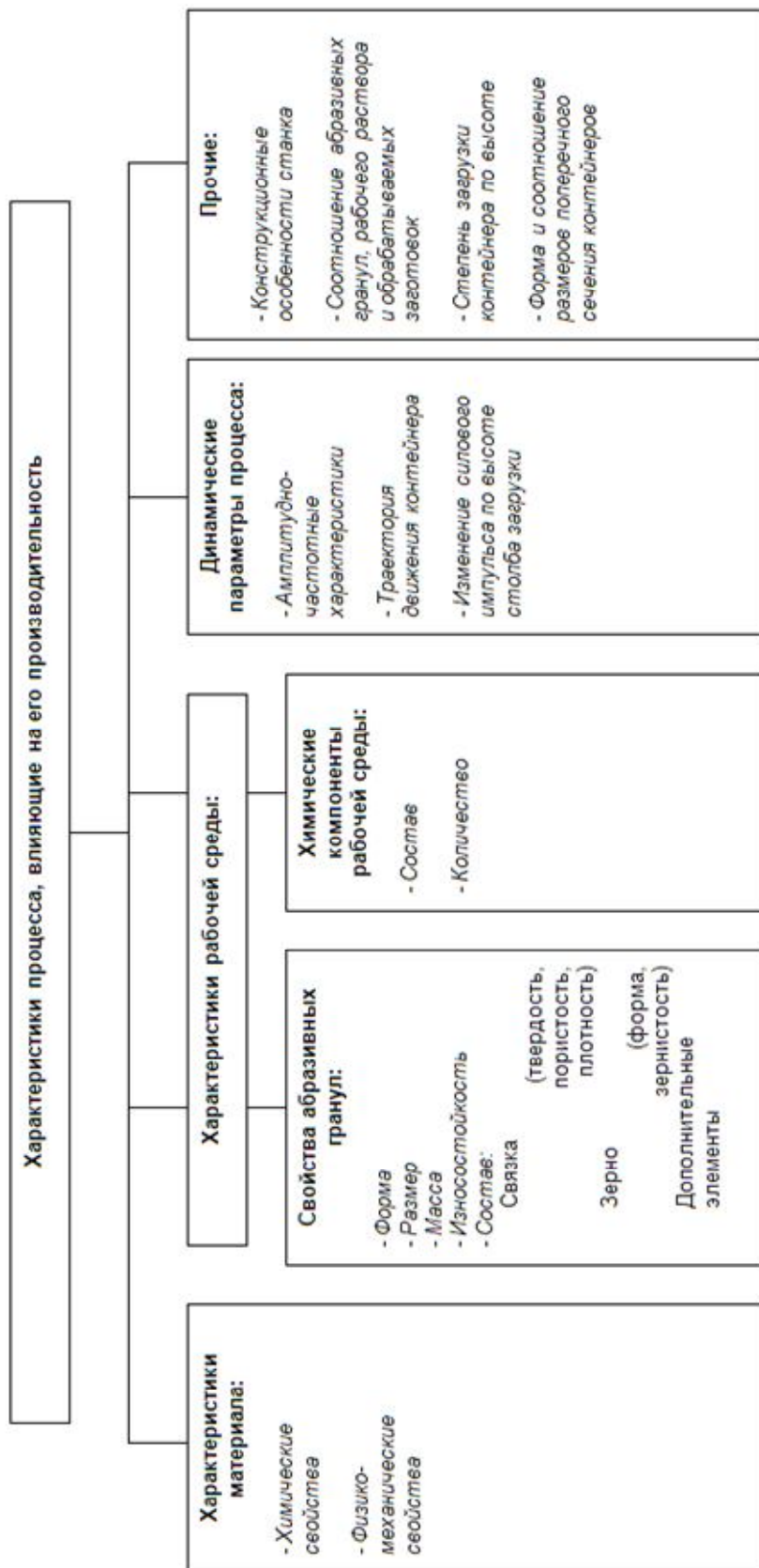
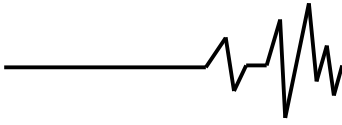


Рис. 1. Характеристики процесса, влияющие на его производительность



В процессе колебаний детали и рабочая среда непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям. От стенок контейнера колебания передаются прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующим слоям, и т.д. В процессе обработки заготовки занимают различные положения в рабочей среде, и тем самым обеспечивается равномерная обработка всех поверхностей изделия.

Процесс обработки осуществляется преимущественно с периодической или непрерывной подачей технологической жидкости. В ее функции входит удаление продуктов износа (частиц металла и абразива), разделение и равномерное распределение деталей в рабочей среде [13]. Введением в ее состав различного рода химических добавок со специальными свойствами регулируется интенсивность процесса обработки изделия и качество обрабатываемой поверхности. Жидкость также способствует охлаждению обрабатываемых деталей и гранул. К основным параметрам процесса относятся режимы обработки – амплитудно-частотные характеристики, характеристики обрабатываемых деталей и рабочих сред, а также продолжительность процесса. При этом выходными характеристиками являются скорость и ускорение, сила и энергия, контактное давление и температура в зоне соударения [15, 16]. Именно по этим параметрам определяется интенсивность протекания процесса по изменению поверхностного слоя изделия.

Анализируя станочное оборудование [11, 12], следует отметить, что обработка проводится в большинстве случаев при амплитуде 0,5-5 мм. Значительно реже она достигает 7-15 мм [15]. Есть упоминания о работе с амплитудами до 15-20 мм при частотах 5-10 Гц [16]. Частота колебаний для основной схемы вибрационной обработки достигает 30-67 Гц [5]. Установлено, что скорость соударения гранул и обрабатываемых деталей 0,6-1 м-с, ускорение - 15-150 м-с<sup>2</sup> [16]. Сила соударений изменяется от 5 до 50 Н [16].

Говоря о мелких налипаемых на стенки и слипаемых в пакеты деталях, следует остановиться на понятиях «мелкие» и «крупные» детали. По ранее сложившимся представлениям [5, 16], к крупным деталям относятся «... детали, максимальный размер которых не превышает 1/3 ширины контейнера. Детали больших габаритов резко ухудшают циркуляцию среды» [5]. Однако последующие работы как в стране [12], так и зарубежом [11, 17] показали, что при переходе к более

высокочастотным режимам (по сравнению с ранее применяемыми) такая проблема исчезла. Кроме того сегодня существует и широкий размерный ряд станков – от 0,2 до 2000 л [16], поэтому, что для одного станка – крупная деталь, то на другом оборудовании попадает в группу средних деталей, для которых существует типовая технология. Переход к большому по объему контейнеру (с увеличением его ширины), где однозначно может размещаться большее количество деталей, не всегда объективен, т.к. обработка в центре контейнера малоэффективна (из-за пассивной зоны), а следовательно, необходимо конструировать удлиненный контейнер с прежними размерами поперечного сечения контейнера [18-20].

Такая же условная картина по делению деталей по размерам складывается и при разработке технологического процесса. Так, например, автор [5] указывает: «... вес деталей не является решающим признаком для выбора того или иного технологического процесса», но накладывает ограничения по размеру и массе используемых гранул, а именно:

$$\frac{P_1}{P_2} > 30, l = \frac{L_{\min}}{5} [5],$$

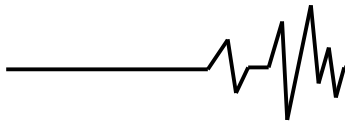
где  $P_1$  и  $P_2$  – соответственно массы деталей и гранул;  $l$  – размер гранулы;  $L_{\min}$  – наименьший линейный размер детали.

В первой зависимости практически ничего не изменится, если эти величины поменять местами, т.к. главное – это разность масс, которая приводит к разности скоростей, т.е. к появлению эффекта взаимного проскальзывания. Но, как уже указывалось, этот эффект будет иметь место и в результате послышного движения, которое в свою очередь является результатом циркуляционного движения.

О второй зависимости трудно что-либо сказать, т.к. ее обоснование не приведено, но можно предположить, что этим соотношением определялась возможность контакта всей обрабатываемой поверхности детали с поверхностью гранулы.

Отсюда вытекает необходимость во внесении изменений в классификацию вибрационного оборудования [5, 9, 10], т.к. в ней указывался объем контейнера, а должен обязательно указываться поперечный размер контейнера и его длина, т.к. в этом случае можно говорить о размерных соотношениях обрабатываемых деталей и оборудования.

Таким образом, при оценке мелкости или крупности детали также наблюдается некая расплывчатость, и поэтому возникает



необходимость рассматривать детали (их параметры) в зависимости от конкретного вибрационного станка (размеров поперечного сечения контейнера) и формы этого сечения, а также с учетом размера гранулы (а точнее ее массы и формы), что особенно важно для деталей сложной формы. Получается, что деталь становится мелкой, если в рассматриваемом контейнере она налипает на его стенки (т.е. мощности потока рабочей среды не хватает для ее поднятия и отрыва от влажной стенки, а ведь это может быть связано и с мощностью привода, и с объемом загрузки) и если эффективность обработки данной детали снижается в результате уменьшения относительной скорости (деталь – гранула).

Такой недостаток вибрационной обработки, как слипаемость обрабатываемых деталей в пакеты, в меньшей степени или вообще не связан с размерами контейнера, не связан с размерами гранул, но очень часто связан, хотя и не всегда, с размерами и формой деталей. В первую очередь слипаемость – это результат наличия значительной развернутой плоскости в этой детали по отношению к другим ее размерам. Примером таких деталей являются пластики и уголки (рис. 2, а). Интересно, что и заготовки вилок и ложек также слипаются.



**Рис. 2. Детали, склонные к слипанию в пакеты:**  
а) пластики и уголки; б) заготовки ложек и вилок

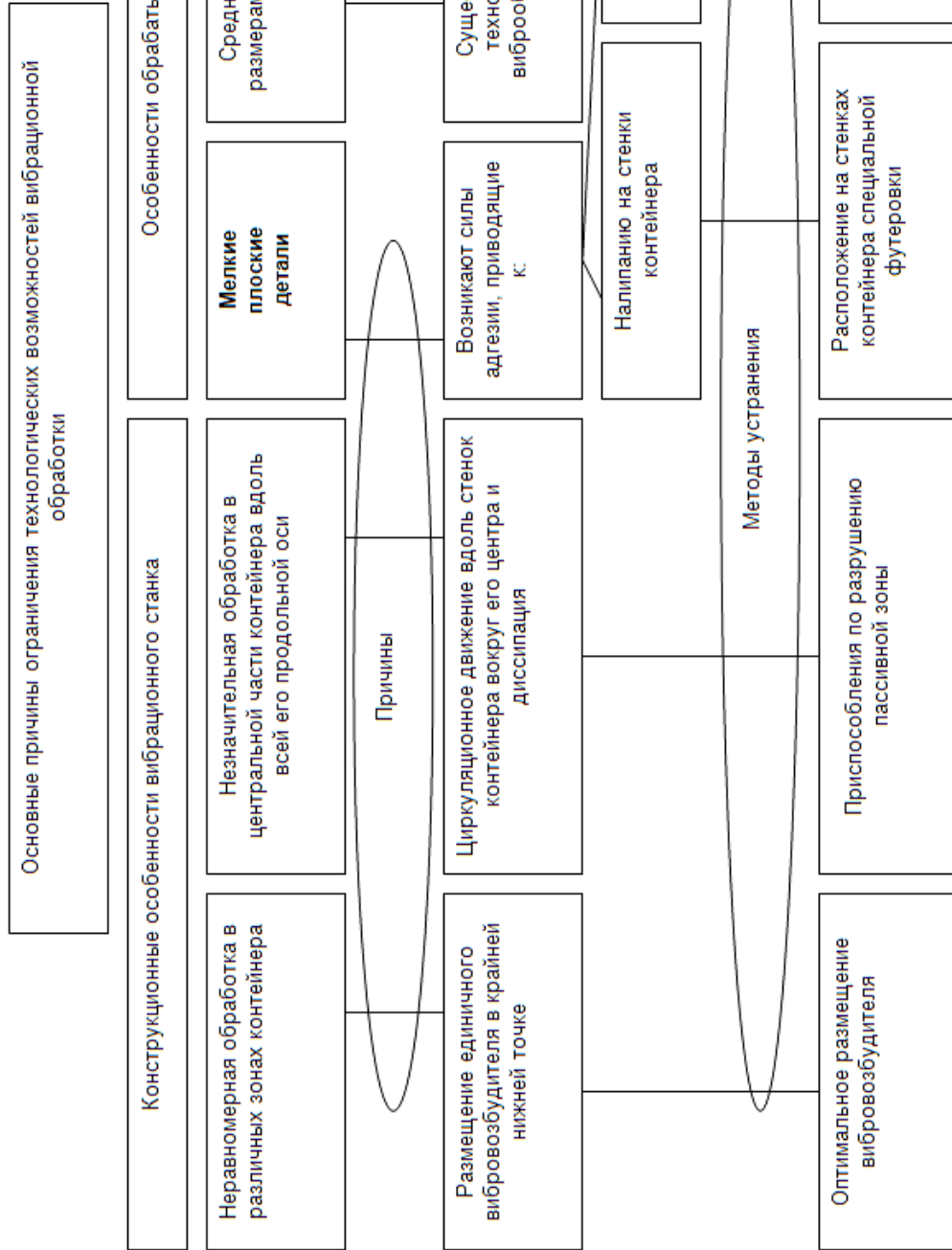
На эффект слипаемости также имеет влияние и центр масс обрабатываемой детали: так, заготовка ложки менее склонна к слипанию, чем заготовка вилки, т.е. сказывается уже конфигурация.

Как указывалось выше, необходимым и достаточным условием для обработки изделий является наличие контакта и взаимного проскальзывания между гранулой и обрабатываемым изделием. В то же время при обработке партии изделий появляется еще одно условие – наличие устойчивого циркуляционного движения по перемещению изделий из одной зоны в другую по поперечному сечению контейнера, т.к. в различных зонах контейнера величина съема металла различна [10]. Из этих условий сразу же вытекают и ограничения в применении вибрационной обработки, связанные с соизмеримостью гранул и деталей по массе и размерам (рис. 3).

Относительная скорость является одним из основных факторов обеспечения эффективности процесса обработки и зависит от абсолютных величин скоростей движения гранул и обрабатываемых изделий. В свою очередь эти скорости находятся в зависимости от частоты и амплитуды колебаний, траектории движения контейнера и от соотношения масс обрабатываемого изделия и абразивной гранулы.

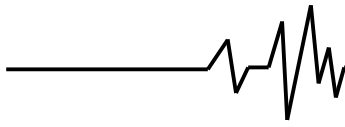
Чем меньше разница в этих массах, тем меньше скорость взаимного проскальзывания и тем меньше производительность. Однако при наличии циркуляционного движения рабочей среды, при котором осуществляется послойное вращение вдоль стенок контейнера вокруг слабо колеблющегося центра масс (рис. 4), обработка изделий в  $i$ -ом слое осуществляется движущимися гранулами в  $i-1$  и  $i+1$  слоях.

Исходя из существующих ограничений, связанных с характеристиками изделий, вытекает, например, предложение по увеличению скорости движения самого контейнера [5], что должно быть связано с уменьшением амплитудно-частотных характеристик станка. Изменение амплитудно-частотных характеристик следует производить достаточно осторожно, потому что, например, может возникнуть эффект кипящего слоя – эффект, при котором элементы среды свободно висят в пространстве, не соприкасаясь как между собой, так и с обрабатываемыми деталями, т.е. среда движется по своим законам, а контейнер по своим, что наблюдается при сочетании как повышенных частот, так и амплитуд [16, 21].

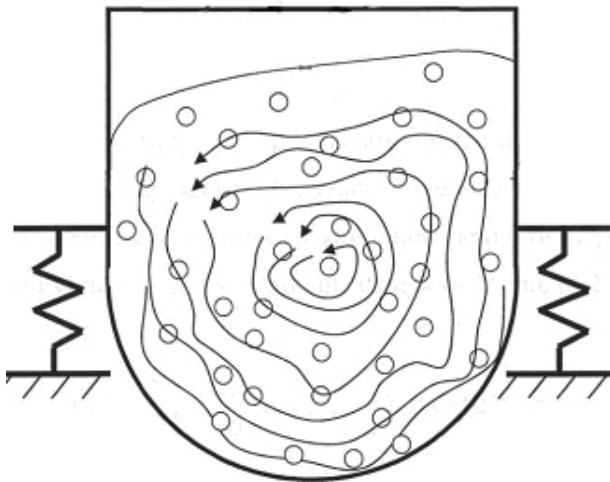


**Рис. 3. Основные причины ограничения при применении вибрационной обработки для мелких плоских деталей**





Интересное решение было предложено автором [10], где для изменения скоростей движения гранул или обрабатываемых изделий предлагалось использовать приспособление, создающее магнитное поле, воздействующее на гранулы с ферромагнитными свойствами (или ферромагнитные детали), которые обеспечивают увеличение относительной скорости движения рабочей среды и обрабатываемых деталей в контейнере.



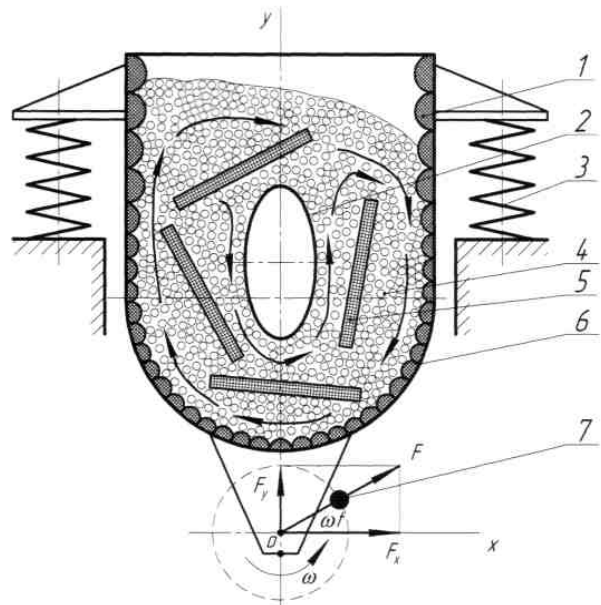
**Рис. 4. Контейнер вибродвигателя с полой циркуляционным движением его загрузки**

Практически разность в массах гранул и деталей при сегодняшнем выпуске разнообразных гранул [11, 12, 17] уже не играет столь существенной роли, т.к. изготавливаемые абразивные гранулы при всех прочих одинаковых параметрах могут отличаться только по массе. Например, так это сделано в [22], где для достижения необходимой массы утяжелена сердцевина гранулы.

Производительность процесса также снижается при обработке плоских деталей в результате их склонности к налипанию на стенки контейнера (при подъеме среды в ее циркуляционном движении) [5].

Этим недостаткам и попыткам нахождения средств по их ликвидации посвящено множество работ [11, 23, 24]. Так, например, автором [25] была предложена конструкция контейнера, принципиальная схема которого предусматривает как наличие дополнительных рабочих поверхностей, представленных дефлектором, так и модернизацию стенок и дна путём изменения формы поперечного сечения их футеровки (рис. 5). Модернизация достигалась изменением прямолинейных элементов

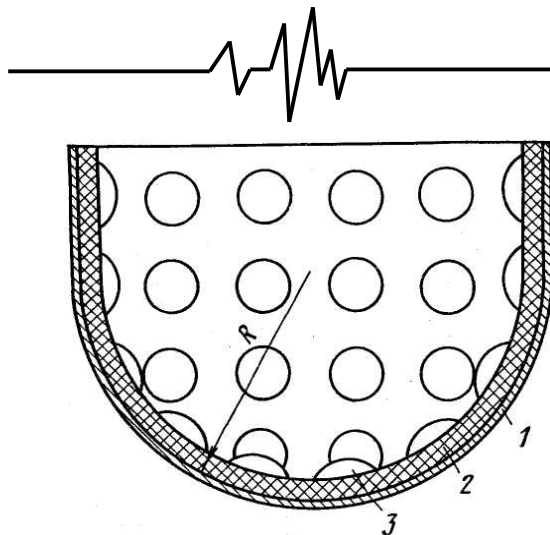
поверхности футеровки на криволинейные, т.е. футеровка рабочих поверхностей контейнера в поперечном сечении выполнялась в виде сопряжённых полуокружностей, диаметр которых изменяется в пределах  $d \dots 10d$ , где  $d$  - наименьший размер гранулы рабочей среды ( $\approx 4 \dots 6$  мм), применяемой в типовых технологиях вибрационной обработки (рис. 5). По мнению автора [25], подобное конструкторское решение увеличивает контакты с гранулами среды, что должно обеспечивать увеличение перемещения гранул и обрабатываемых изделий, а также повышает интенсивность протекания технологических операций вибрационной обработки.



**Рис. 5. Контейнер вибродвигателя, оснащённый дефлектором и модернизированными рабочими поверхностями [25]:**

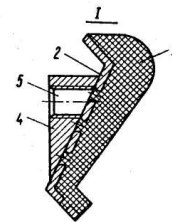
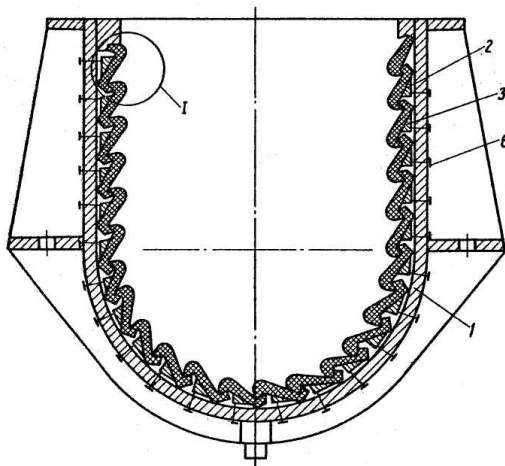
- 1 - футеровка; 2 - дефлектор;**
- 3 - упругая подвеска;**
- 4 - рабочая среда;**
- 5 - обрабатываемые изделия;**
- 6 - контейнер; 7 - инерционный вибровозбудитель**

Ранее в [26] был предложен контейнер с футеровкой, выполненной с выступами, что исключало налипание плоских деталей на стенки контейнера, а это, по мнению авторов, приводит к улучшению равномерной обработки, способствует изменению уплотнения рабочей среды и увеличению производительности процесса (рис. 6).



**Рис. 6. Рабочая камера для виброударной обработки (поперечное сечение) [26]:**  
*R – радиус кривизны дна контейнера;*  
**1 – металлический корпус;**  
**2 – внутренняя оболочка;**  
**3 – выступы**

Авторами [27] была предложена футеровка рабочего контейнера вибрационного станка, состоящая из металлических элементов 2, выполненных в виде Z-образных профилированных полос, покрытых с одной стороны резиной 3 криволинейной формы переменного сечения, а с другой стороны имеющих бобышку 4 с резьбовыми отверстиями 5. Металлические обрешеченные элементы крепятся вдоль обечайки контейнера внахлест болтами 6 (рис. 7). По мнению авторов [27], облицовка каркасов резиной по криволинейной поверхности и установка их внахлест вдоль контейнера способствует образованию волнистой поверхности, что в значительной мере снижает проскальзывание среды относительно футеровки в процессе работы вибрационного станка, увеличивает скорость вращения среды загрузки и интенсифицирует процесс обработки.



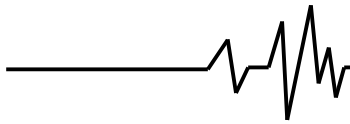
**Рис. 7. Станок и крепление футеровки по обечайке контейнера [27]:**  
**1 – футеровка контейнера; 2 – металлические элементы, выполненные в виде Z-образных профилированных полос; 3 – резина криволинейной формы переменного сечения; 4 – бобышка; 5 – резьбовые отверстия**

В работе [28] описана конструкция контейнера с футеровкой, выполненной в виде обрешеченных валиков (рис. 8) одного диаметра, принудительно (посредством цепной передачи) вращающихся в различных направлениях, что, по мнению [28], улучшает циркуляцию среды и интенсифицирует процесс обработки. Вместе с тем, работоспособность и надёжность данной конструкции вызывает сомнение при больших объёмах контейнеров, используемых для обработки крупногабаритных изделий.

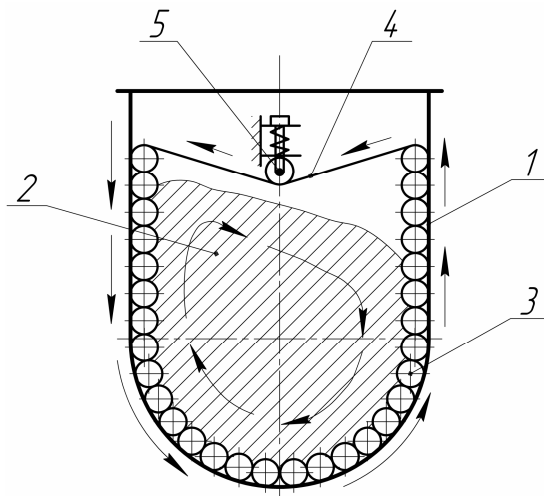
Известна также конструкция контейнера (рис. 9), облицованного футеровкой, которая выполнена в виде Z-образных профильных

полос, покрытых с одной стороны резиной криволинейной формы и переменного сечения. Такая рабочая поверхность, вследствие её волнистости, по мнению автора [29], должна снижать проскальзывание среды у стенок и днища контейнера в процессе работы вибрационного станка, увеличивать скорость вращения среды и интенсифицировать процесс обработки. Однако наряду с технологическими преимуществами описанная футеровка рабочей поверхности конструктивно сложна, что затрудняет техническое обслуживание и снижает ремонтпригодность контейнера вибрационного станка. Также вызывает сомнение высказывание авторов о

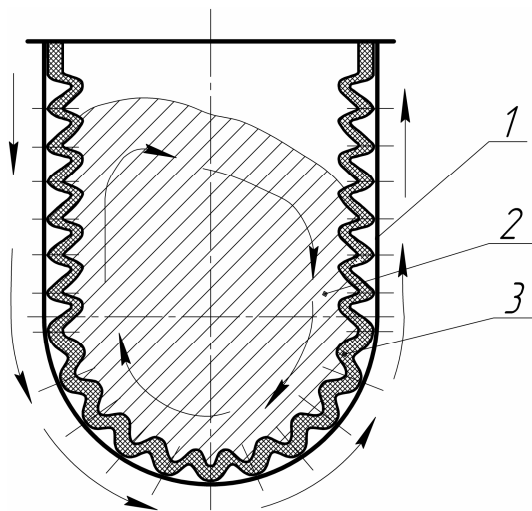




стабильности циркуляционного движения, т.к. мелкие детали и гранулы могут застревать в пазах футеровки.



**Рис. 8. Контейнер с рабочей поверхностью в виде подвижной футеровки из обрезиненных роликов:**  
1 – контейнер; 2 – рабочая среда;  
3 – обрезиненный валик; 4 – цепная передача; 5 – натяжной ролик [28]



**Рис. 9. Контейнер с рабочей поверхностью в виде футеровки из Z-образных профильных полос:**  
1 – контейнер; 2 – рабочая среда;  
3 – футеровка [29]

Последующие исследования, проведенные в НИЛ «ОСА» ВНУ им. В.Даля, показали, что данное решение не способствует ликвидации налипания на стенки контейнера. Детали застревали между выступами (рис. 10), как, впрочем, и мелкие гранулы, терялась циркуляционная скорость [23].



**Рис. 10. Плоский образец, застрявший между выступами футеровки**

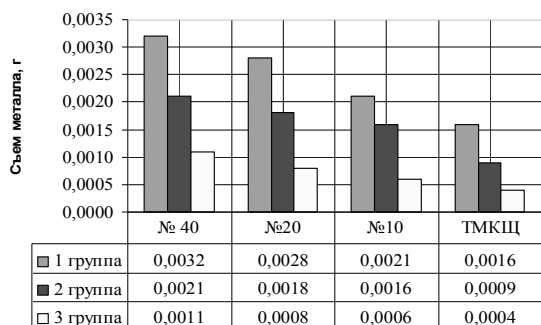
В дальнейшем, в работе [30] было предложено другое решение: для уменьшения сил адгезии, возникающих при работе в жидкости (вода либо любой химически активный раствор), было предложено заменить гладкую стенку облицовки контейнера, выполняемую чаще всего из ТМКЦ и работающую в среднем 800-1000 часов (в зависимости от наличия острых кромок у используемых абразивных гранул и у деталей, а также ликвидов, подлежащих обработке), не просто на более шероховатую, а на резино-абразивную (рис. 11, а, б).

Эксперимент проводился в вибрационном станке УВИ-25 с режимами: амплитуда  $A=3,5$  мм; частота  $f=50$  Гц в течение 60 мин в бое шарошлифовальных кругов АН-2. В этом случае не только отсутствовало налипание деталей, но и повышалась производительность обработки (съем металла в единицу времени) не только плоских образцов, но и цилиндрических.

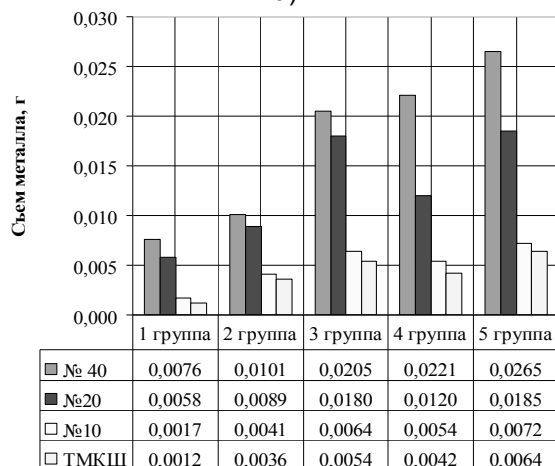
Для решения проблемы слипания деталей на протяжении более чем 40-летнего развития вибрационной обработки разрабатывались различные механические приспособления.

В [31] представлено устройство (рис. 12), которое монтируется в контейнере 1, упруго установленном на раме 2 посредством амортизаторов 3. Устройство 4 выполнено в виде неравнобокой угловой балки, установленной с возможностью регулирования по высоте параллельно продольной оси контейнера. К горизонтальной полке балки приваривается несколько рядов штырей 5, имеющих разную длину и располагаемых в чередующемся порядке на разных уровнях, образуя поперечную решетку.

В процессе работы под действием вибрации вся масса загрузки приобретает вращательное движение; при этом, наталкиваясь на погруженную в нее вертикальную полку приспособлений, разбивается на две части, одна из которых продолжает участвовать в общем вращательном движении,



а)

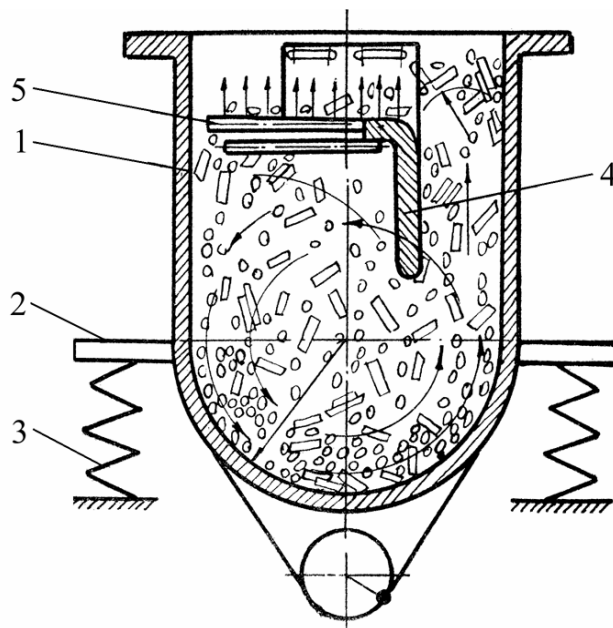


б)

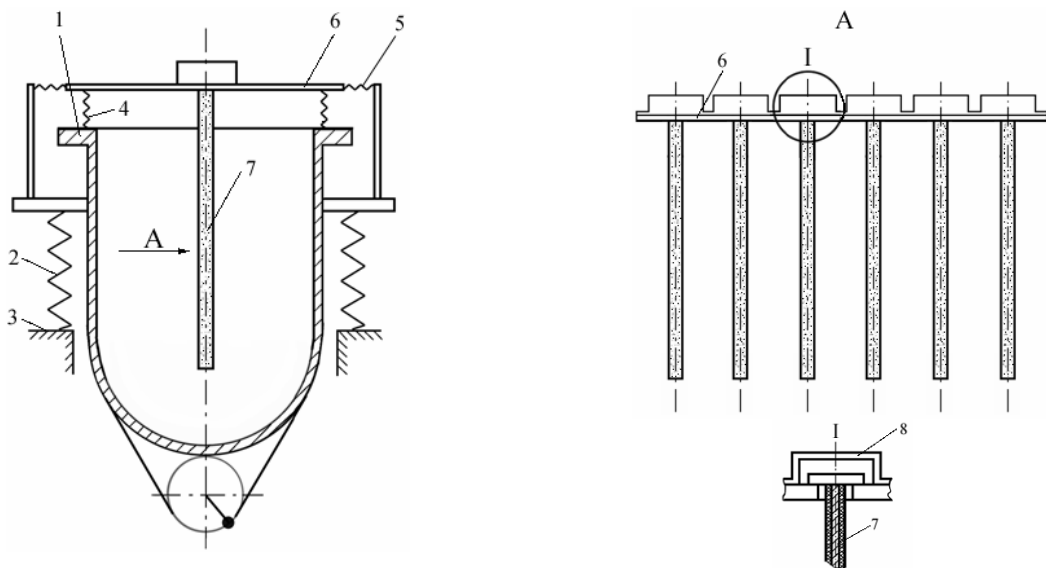
**Рис. 11. Съем металла с поверхностей:****а) плоских образцов****1 группа – 45×25×2 мм;****2 группа – 25×25×2 мм;****3 группа – 25×5×2 мм;****б) цилиндрических образцов****1 группа – Ø10×20 мм;****2 группа – Ø15×25 мм;****3 группа – Ø20×30×7 мм;****4 группа – Ø25×30×5 мм;****5 группа – Ø40×25×5 мм);****№ 40, 20, 10 – резиново-абразивные футеровки (РАФ) с зернистостью соответственно №40, 20, 10;****ТМКЦ – термо-морозно-кислотно-щелочностойкая резина ГОСТ 7338-90**

а другая, благодаря транспортирующему действию вибрации поднимается между вертикальной полкой приспособлений и боковой стенкой контейнера, создавая тем самым разницу в уровнях рабочей среды.

Поднятая масса загрузки попадает на вибрирующую горизонтальную полку, и при этом пакеты слипшихся деталей частично разрушаются от вибрации, равномерно располагаются в горизонтальной плоскости и далее, попадая на решетку из штырей, окончательно разбиваются за счет вибрации и каскадного эффекта при падении с решетки в контейнер.

**Рис. 12. Контейнер с расположенным в нем приспособлением-балкой [31]:****1 – контейнер; 2 – рама;****3 – амортизаторы;****4 – неравнобокая угловая балка;****5 – штыри**

В [32] описано устройство (рис. 13), в котором при вибрационной обработке вся масса загрузки, проходя через центр U-образного контейнера 1, наталкивается на погруженные в нее штыри 7, которые от подпружиненной балки 6 колеблются и тем самым ликвидируют пассивную зону контейнера 1, шевелят рабочую среду с обрабатываемыми деталями в данной зоне контейнера 1, разбивают пакеты слипшихся деталей и принимают участие в процессе обработки, поскольку содержат в своей облицовке абразивные зерна.

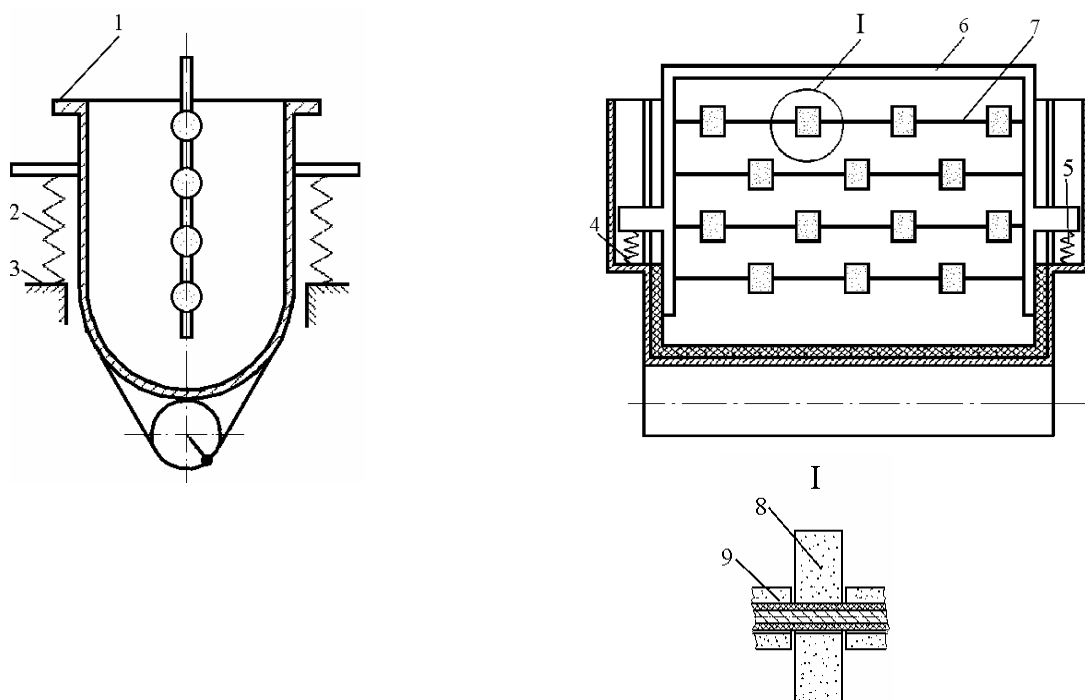
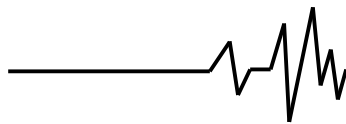


**Рис. 13. Приспособление для вибрационной обработки [32]:**  
1 – контейнер; 2 – амортизаторы; 3 – рама; 4, 5 – пружины;  
6 – балка; 7 – штырь; 8 – ограничитель

В [33] также описано устройство (рис. 14), устанавливаемое в контейнер, загруженный рабочими абразивными телами и обрабатываемыми деталями, осуществляющими вращательное движение под действием вибрации. Проходя через центр U-подобного контейнера 1, где находится пассивная зона, они сталкиваются с рамкой 6, которая имеет стержни 7 с нанизанными на них рабочими абразивными телами 8 и которая колеблется под влиянием вибровозбудителя. Расстояния между рабочими абразивными телами 8 на одном стержне 7 и на двух соседних стержнях 7, равно минимальному геометрическому размеру обрабатываемых деталей, выдерживается для того, чтобы при прохождении рамки 6 обрабатываемые детали были предрасположены к силовому влиянию и к обработке нанизанных на стержне 7 рабочих абразивных тел 8.

Но следует отметить, что большинство из выше описанных приспособлений не являются универсальными, т.к., например, изменение размера детали может привести к их непригодности. Многие из них усложняют конструкцию станка, занимая значительное пространство полезной рабочей площади, а в ряде случаев их расположение тормозит циркуляцию самой среды.

В последнее время появились предложения по введению в рабочую среду дополнительных вспомогательных элементов. Данные элементы достаточно мелкие, находясь в рабочей среде, попадают между деталями и не позволяют им слипаться [11]. Однако системные исследования, которые позволили бы перейти к конкретным практическим рекомендациям, на сегодня отсутствуют. При этом существует и отрицательный опыт. В работе [34] проводилась количественная оценка выпавших из абразивных гранул зерен за определенные временные промежутки для различных сред и оценивалась их роль в съеме металла и в получаемом качестве обрабатываемой поверхности. Было установлено, что при периодической промывке выпавшее зерно частично ложится на дно контейнера, а при попадании между гранулой и деталью может повреждать обрабатываемую поверхность или шаржировать, насыщая поверхностный слой металла продуктами износа (с максимальной глубиной проникновения частиц в обрабатываемую поверхность на 10-13 мкм). Следует также отметить еще один негативный фактор: выпавшие зерна наряду с продуктами микрорезания, попадая в сливное устройство, забивают его.



**Рис. 14. Приспособление для вибрационной обработки [33]:**  
1 – контейнер; 2 – амортизаторы; 3 – рама; 4, 5 – пружины,  
6 – рамка; 7 – стержни; 8 – рабочие абразивные тела; 9 – втулка

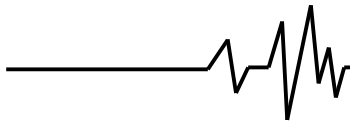
Повреждение обрабатываемых поверхностей или их шаржирование наиболее заметно при обработке мягких и пластичных материалов. При виброабразивной обработке закаленных и отожженных конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов при определенных амплитудно-частотных характеристиках наблюдается схватывание металла с абразивными зернами [34]. Естественно, что присутствие абразива в поверхности деталей влияет на их эксплуатационные свойства.

Следовательно, появляется необходимость в выборе размера элементов среды, формы, твердости, массы, амплитудно-частотных характеристик и условий, при которых эти вспомогательные элементы не будут опускаться на дно контейнера.

Отдельным и слабоизученным вопросом является влияние химического раствора на поведение совокупности единичных гранул. Известно, что введение химического раствора способствует повышению производительности процесса, осветлению или блескообразованию обрабатываемой поверхности, если это необходимо, пассивированию, фосфатированию поверхности, но и возникновению слипания и налипания деталей

[35]. Изменяя объем вводимого раствора, можно регулировать силу взаимодействия, т.к. применяемые при вибрационной обработке растворы обладают различной вязкостью, а используемые абразивные гранулы (на керамической, бакелитовой, пластиковой связках) различной смачиваемостью, как, впрочем, и обрабатываемые материалы, и вспомогательные элементы (из стеклянных, пластиковых, порошковых реагентов). А следовательно, изменяя эти параметры, можно добиться изменения плотности раствора в зоне контакта деталь – гранула, гранула – гранула, деталь – деталь, а также соответственно деталь или гранула – стенка контейнера.

Косвенным подтверждением идеи об изменении поверхностного слоя изделия при изменении плотности раствора является фосфатирование или цинкование поверхности обрабатываемой детали [36, 37]. Гранула наносит на поверхность детали пленку для предохранения ее от корроирования или нанесения покрытий на эти поверхности. Например, при цинковании может происходить увеличение температурного режима, из-за чего при наличии циркуляционного движения происходит съём ранее нанесенного покрытия. А следовательно, подобным путем наноса на

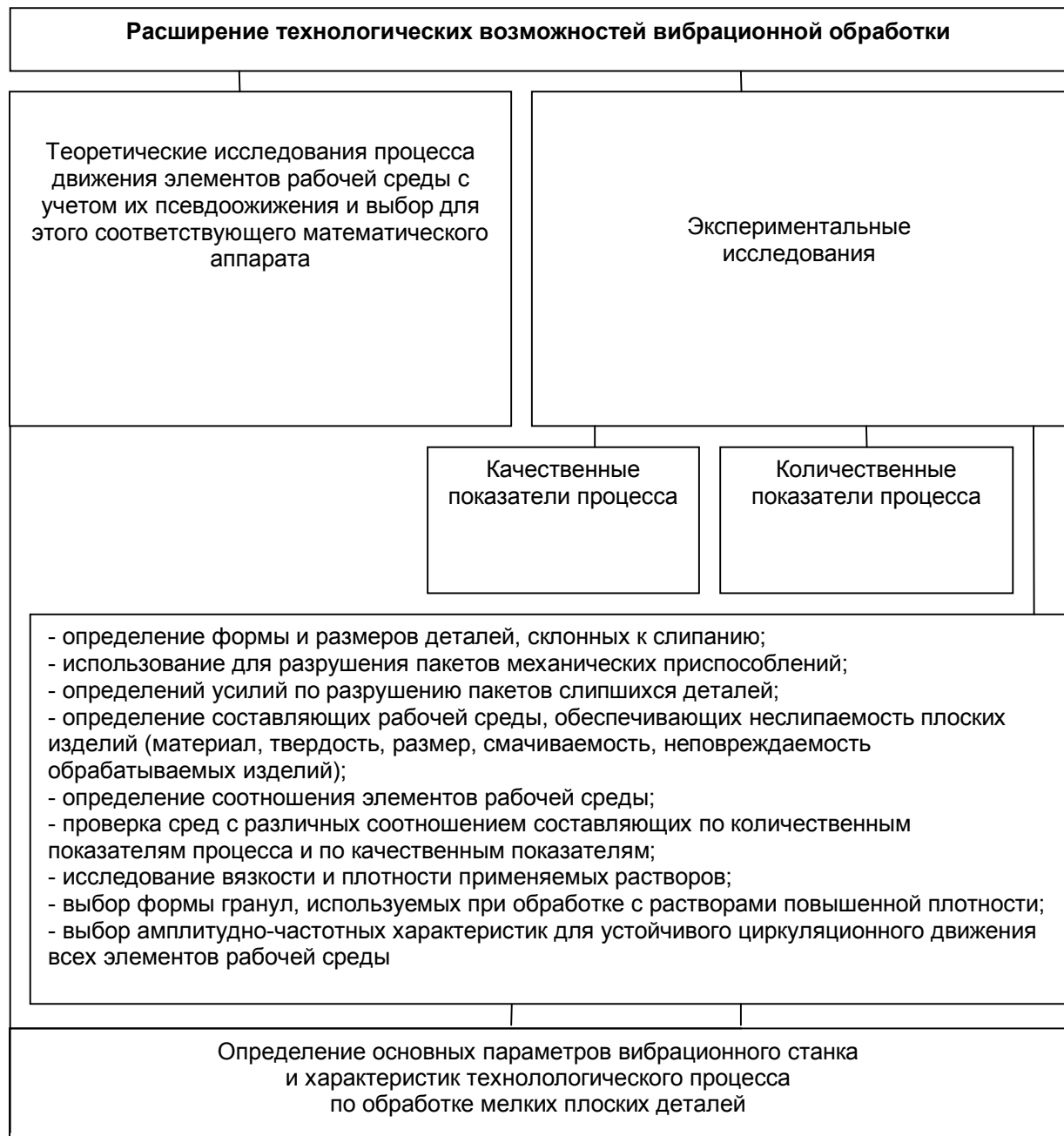


поверхность детали слой раствора, можно избежать плотного контакта детали с деталью, но который не мешает съему металла и формированию требуемого микрорельефа поверхности.

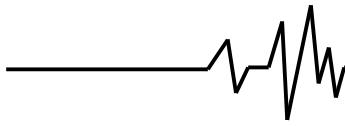
С целью снижения или исключения шаржирования предлагается использовать пенообразователи, вводимые в состав технологической жидкости. Следовательно, технологическая жидкость выступает в роли псевдооживителя твердых частиц. В этом

случае изменяется сила взаимодействия зерно – деталь, скорость перемещения зерна и прочие характеристики. Понимание поведения совокупности этих зерен в технологической жидкости требует рассмотрения процесса их псевдооживления.

В результате можно и нужно построить следующую схему исследований, которые позволят перейти к стабильной обработке плоских деталей.

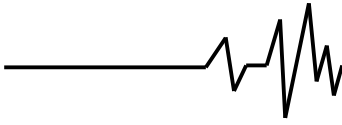


**Рис. 15. Постановка задач исследований**

**Литература**

1. Кулаков Ю.М. Отделочно-зачистная обработка деталей / Ю.М. Кулаков, В.А. Хрульков. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
2. Шаинский М.Е. Проблемы развития виброабразивной обработки в стране / М.Е. Шаинский, О.Г. Игнатенко, В.А. Власов // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара «Виброабразивная обработка деталей». – Ворошиловград, 1978. – С. 3-8.
3. Цыгановский А.Б. Технологические особенности гидроабразивной струйно-центробежной обработки мелких деталей: дис... канд. тех. наук: 05.02.08 / Цыгановский Александр Борисович; – Ворошиловград, 1988. – 265 с.
4. Субач А.П. Динамика процессов и машин объемной вибрационной и центробежной обработки насыпных деталей / А.П. Субач. – Рига: Зинатне, 1991. – 400 с.
5. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И.Н. Карташов, М.Е. Шаинский, В.А. Власов и др. – К.: Высшая школа, 1975. – 188 с.
6. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора вентилятора. Часть I / В.А. Богуслаев, Ф.И. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: ООО «Мотор Сич», 2003. – 396 с.
7. 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.
8. Турбоабразивная обработка деталей сложного профиля. Методические рекомендации. – М.: НИИмаш, 1979. – 38 с.
9. Бранспиз Е.В. Повышение эффективности виброабразивной обработки путем рационального выбора ее основных параметров: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Бранспиз Елена Владимировна. – Луганск, 2002. – 265 с.
10. Ясуник С.Н. Повышение эффективности процесса обработки деталей в вибрирующих контейнерах: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Ясуник Светлана Николаевна. – Луганск, 2003. – 215 с.
11. [www.rosler.ru](http://www.rosler.ru)
12. [www.remiz-99.ru](http://www.remiz-99.ru)
13. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии: Часть 2. Технология вибрационной обработки / А.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1994. – 89 с.
14. Вибрации в технике: справ. в 6-ти т. / Под ред. Челомей В.Н. – М.: Машиностроение, 1978. – Т.4: Вибрационные процессы и машины / Под ред. Лавендела Э.Э. – М., 1981. – 509 с.
15. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: моногр. / Ю.Р. Копылов. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.
16. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев – Ростов-на-Дону, 2008. – 694 с.
17. [www.walther-trowal.com](http://www.walther-trowal.com)
18. Калмыков М.А. Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.03.01 / Калмыков Михаил Александрович. – Луганск, 2005. – 223 с.
19. Лубенская Л.М. Вибрационная обработка деталей сферических форм / Л.М. Лубенская, Д.В. Молчанов, А.В. Романченко // Вібрації в техніці та технологіях. - 2007. - №3(48). – С. 49-52.
20. Лубенська Л.М. Основы вібраційної технології: навч. пос. / Л.М. Лубенська, М.О. Калмиков, С.М. Ясуник. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 284 с.
21. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии: учебн. пос. / М.Б. Генералов – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2002. – 592 с.
22. Лубенская Л.М. Влияние формы абразивных гранул на съём металла с поверхностей образцов различных геометрических форм / Л.М. Лубенская, Т.А. Шумакова, С.Н. Ясуник // Вібрації в техніці та технологіях. – 2007. - №2(47). – 2007. – С. 33-37.
23. Пшеничный И.Н. Результаты обработки мелких и плоских деталей в U - образных контейнерах вибрационных станков / И.Н. Пшеничный, И.В. Волков, Г.Л. Мелконов // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. пр. Полтавського національного технічного ун-тету ім. Ю. Кондратюка. – 2009. – Вип. 3(25), Т.1. – С. 186-189.
24. Міцик А.В. Підвищення ефективності обробки великогабаритних плоскісних виробів активізацією руху робочого середовища у коливних U-подібних контейнерах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Міцик Андрій Володимирович. – Х., 2008. – 20 с.
25. Пат. 9796, МКИ В 24 В 31/00 Віброверстат для оздоблювально-зачищувальної обробки великогабаритних панельних виробів / А.В. Міцик, заявник і патентовласник Східноукраїнський





національний університет ім. В. Даля. – № 200503124; заявл. 05.04.2005; опубл. 17.10.2005, Бюл. №10. – 3 с.

26. А.с. № 1006181 СССР, МКИ В 24 В 31/06. Рабочая камера для виброударной обработки / С.П. Маслов, А.В. Кружков, Л.П. Коршунов, В.С. Евстишенков (СССР). – № 3299237/25-08; заявл. 11.06.81; опубл. 23.03.83, Бюл. № 11.

27. А.с. № 948635 СССР, МКИ В 24 В 31/06 Футеровка рабочей камеры вибромашины / П.Д. Денисов, В.К. Кузьма, В.И. Кармалюк, Л.К. Юрова (СССР). – № 329493/25-08; заявл. 18.12.80; опубл. 07.08.82, Бюл. № 29.

28. А.с. 764952 СССР, МКИ В 24 В 31/06 Футеровка / Н.И. Тимохин, В.Д. Белозеров, Г.И. Давыдова (СССР). – № 2417805/25-08; заявл. 16.11.76; опубл. 23.09.80, Бюл. №35.

29. Опирский Б.Я. Новые вибрационные станки / Б.Я. Опирский, П.Д. Денисов. – Львов: Свит, 1991. – 160 с.

30. Лубенская Л.М. Обработка мелких плоских деталей на вибрационных станках с U-образной формой контейнера при различных типах футеровок / Л.М. Лубенская, И.В. Волков, Г.Л. Мелконов // Вопросы вибрационной технологии: межвуз. сб. науч. статей. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 84-89.

31. Шаинский М.Е. Устройство для разрушения слипшихся в пакеты деталей при виброобработке / М.Е. Шаинский, Н.В. Фальченко, В.А. Власов // Труды Всесоюзного научно-технического семинара

«Виброобразивная обработка деталей». – Ворошиловград, 1978. – С. 167-170.

32. Патент № 59627А. Україна, МКИ В24В31/06. Пристрій для вібраційної обробки деталей в U-подібному контейнері / М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська, А.В. Міцик, С.М. Ясунік. – № 2002108341; Заявлено 22.10.02; Опубл. 15.09.03, Бюл. №8. – 3 с.

33. Патент № 59628А. Україна, МКИ В24В31/06. Пристрій для вібраційної обробки деталей у U-подібному контейнері / М.О. Калмиков, Л.М. Лубенська, А.В. Міцик, С.М. Ясунік. – № 2002108342; Заявлено 22.10.02; Опубл. 15.09.03, Бюл. №8. – 2 с.

34. Баби́чев А.П. Основы вибрационной технологии: Часть 1. / А.П. Баби́чев. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1993. – 97 с.

35. Берещенко А.А. Виброхимическая обработка углеродистых и легированных сталей: автореф. дис. ... канд. хим. наук / Берещенко Алла Александровна. – К., 1980. – 18 с.

36. Иванов В.В. Разработка совмещенного процесса вибрационной обработки и оксидирования деталей из алюминиевых сплавов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 – Ростов-на-Дону, 1996. – 160 с.

37. Журавлева Л.А. Формирование защитных фосфотных пленок в условиях механохимической вибрационной обработки сталей / Л.А. Журавлева, Р.Т. Савченко, П.В. Колодяжный // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – №4(56). – С. 85-88.