

УДК 621.7

М. А. Тамаркин, д-р техн. наук, проф., **Э. Э. Тищенко**, канд. техн. таук, доц., **Д. К. Муратов**, канд. техн. таук, доц., **Р. Г. Тищенко**, магистрант, **В. Ю. Строев**
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
Тел./Факс: +7 9034339583; E-mail: lina_tishenko@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ СРЕДЫ В РАБОЧИХ КАМЕРАХ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

В статье представлены результаты исследований вибрационной обработки деталей машин. Изучена область применения вибрационной обработки. Обоснована важность исследования параметров рабочих камер. Выполнен анализ применяемых форм рабочих камер, используемых для осуществления процесса, описаны их характеристики, преимущества, недостатки и область применения. Изучены динамические процессы, происходящие внутри рабочей камеры станка для вибрационной обработки. Рассмотрены основные закономерности создания и поддержания движения гранулированной рабочей среды путем воздействия на среду механическими вибрациями. Изучены различные модели динамики движения гранулированных сред в вибрирующих рабочих камерах (одномассная модель виброперемещения тела по наклонному лотку, модель одно- и многомассных композитных упруго-вязко-пластических тел). Проведен комплекс теоретических исследований. Приведены результаты экспериментальных исследований параметров взаимодействия гранул друг с другом и с облицовкой рабочей камеры для различных сред и материалов облицовки с целью дальнейшего компьютерного моделирования динамики взаимодействий при вибрационной обработке.

Ключевые слова: вибрационная обработка деталей, динамика движения среды

M. A. Tamarkin, E. E. Tishchenko, D. K. Muratov, R. G. Tishchenko, V. Yu. Stroeve

INVESTIGATION OF FLUID MOVEMENT DYNAMICS IN WORKING CHAMBERS FOR VIBRATION PROCESSING OF PARTS

The article presents the results of studies of vibration processing of machine parts. The field of application of vibration processing has been studied. The importance of studying the parameters of working cameras is justified. Analysis of the used forms of working chambers used to carry out the process is carried out, their characteristics, advantages, disadvantages and field of application are described. The dynamic processes occurring inside the working chamber of the vibration processing machine are studied. Main regularities of creation and maintenance of granulated working medium motion by exposure of medium to mechanical vibrations are considered. Various models of the motion dynamics of granular media in vibrating working chambers have been studied (single-mass model of body vibration displacement along an inclined tray, model of single and multi-mass composite elastic-visco-plastic bodies). A set of theoretical studies was carried out. The results of experimental studies of the parameters of interaction of granules with each other and with the lining of the working chamber for various media and materials of the lining are given in order to further computer modeling of the dynamics of interactions during vibration processing.

Keywords: vibration processing of parts, dynamics of medium movement

1. Введение

Вибрационная обработка деталей машин (ВиО) в различных гранулированных средах находит все большее применение в современном машиностроительном производстве. Это связано с тем, что немногие методы финишной обработки могут применяться в столь широком диапазоне: от часовой промышленности и точного приборостроения до авиационной промышленности, автомобильного и сельскохозяйственного машиностроения. При этом и перечень выполняемых операций достаточно широк: это шлифование и полирование, удаление заусенцев, скругление острых кромок, удаление окалины и облоя, поверхностное упрочнение, нанесение антикоррозийных, антифрикционных и износостойких покрытий и др.

Высокие результаты, полученные исследователями процесса в настоящее время, непосредственно связаны с созданием парка высокотехнологичного оборудования для вибрационной обработки, применением разнообразных рабочих сред и технологических жидкостей, комбинированию различных видов энергии при проектировании технологических процессов. При этом обязательным условием эффективности и качества всех перечисленных технологических операций является обеспечение устойчивого и достаточно интенсивного движения рабочей среды в рабочей камере вибрационного станка. Неудовлетворительная динамика вибрационного станка не может быть компенсирована никакими технологическими усовершенствованиями процесса [1-3].

Сложность задачи совершенствования динамических характеристик вибростанков, как, впрочем, и большинства вибрационных технологических машин, состоит в том, что основным элементом технологической системы – его инструментом, является гранулированная рабочая среда, существенно нелинейная и характеризующаяся многообразным поведением, динамика которой наименее изучена. Для гранулированных сред, используемых в отделочно-упрочняющей вибрационной обработке (стальных и абразивных шариков, призм, конусов, тел неправильной форм различных размеров), важнейшими динамическими факторами являются сила тяжести, силы межчастичного взаимодействия и силы, приложенные к частицам со стороны стенок рабочей камеры, грузонесущего или рабочего органа. Многолетний опыт производителей и исследователей, а также то обстоятельство, что именно рабочая камера определяет форму, занимаемую объемом рабочей среды, с неизбежностью приводят к выводу об определяющем влиянии формы, размеров, закона движения камеры на динамическое поведение массы загрузки и интенсивность процесса в целом. Разработанные отечественными и зарубежными авторами модельные описания движений возбуждаемых вибрацией гранулированных сред позволили верно отразить некоторые закономерности вибро-транспортирования, циркуляционного движения рабочей среды, производительности и качества вибрационной обработки. Как правило, в упомянутых исследованиях рабочая среда рассматривалась либо как одно- и многомассное тело, испытывающее периодическое силовое воздействие со стороны стенок камеры, либо как множество хаотически движущихся частиц, взаимодействующих с поверхностями изделия и стенок. Несвязанность этих представлений, отсутствие количественных экспериментальных данных по макрохарактеристикам создаваемых в виброкамерах потоков среды в зависимости от возбуждающего воздействия стенок камер делали невозможным рациональное проектирование вибрационного технологического оборудования [4-7].

В значительной степени широкая распространенность ВиО обусловлена тем, что кинематика механизмов вибростанка достаточно проста. Поэтому зачастую технологические и инструментальные службы предприятий самостоятельно проектируют и изготавливают такие станки для собственных нужд. Однако несмотря на эту простоту удачные попытки создания новых нестандартных вибростанков сравнительно редки. Известны случаи, когда незначительное изменение одного из габаритных размеров рабочей камеры, положения, конструкции вибратора, подвески или смена рабочей среды приводили к совершенно неудовлетворительной динамике работы станка – движение среды было медленным, неустойчивым, характеризовалось образованием нежелательных потоков. Такое положение вызвано тем, что, несмотря на многолетние исследования процесса, имеющиеся разработки методики расчета конструкции вибростанков несовершенны. Их несовершенство не позволяет реализовать новые конструкции, потребность в которых вызвана необходимостью встраивания в производственный поток, улучшения производительности и качества обработки.

Это обстоятельство объясняется тем, что за внешней простотой конструкции вибростанка кроется сложность развивающихся при его работе процессов. Действительно, рассматривая его работу, следует признать, что даже решение задачи о возбуждении колебаний рабочей камеры с нужной формой траектории практически невозможно без использования достаточно мощных вычислительных средств, т.к. подвеска камеры представляет собой колебательную систему с большим числом степеней свободы [1, 2, 3]. Но вибровозбудитель, совершая колебания вместе с рабочей камерой, испытывает воздействие инерционных сил, передающихся двигателю конечной мощности. Учет этого явления представляет весьма сложную нелинейную задачу [2, 3], которую аналитически решить невозможно. Однако наиболее сложна для расчета масса загрузки гранулированной среды. Вопросы динамики быстрых движений гранулированных сред являются в настоящее время областью интенсивного приложения сил механиков, специализирующихся в области нелинейных и стохастических систем. В конечном итоге вибрационный станок должен обеспечить движение среды с необходимой интенсивностью и устойчивостью. Но именно моделирование этого движения и представляет наибольшие трудности. Упрощенным аналогом может служить методика расчета виброконвейера [2, 3]. Особенности движения гранулированных сред в вибрирующих рабочих камерах, методы их теоретического и экспериментального анализа будут рассмотрены в настоящей статье.

2. Основное содержание и результаты работы.

Опытом использования ВиО в отечественной промышленности, которому уже более 40 лет, установлено, что удачная форма рабочей камеры существенно влияет на достижение требуемой интенсивности процесса. Поиски лучших форм виброкамер преследуют не только цель повышения производительности за счет снижения машинного времени. Известно, что операции отделения деталей от среды, загрузки-перегрузки и т.п. могут занимать до 50% общего технологического времени. Поэтому представляются вполне логичными и обоснованными попытки сократить производственный цикл за счет совмещения некоторых операций.

Рассмотрим несколько схем, предложенных исследователями вибрационной обработки, их особенности и перспективы использования в промышленных устройствах [1, 2, 3].

U-образная камера со вставкой, оснащенная встроенным разделительным устройством типа вибросита, представлена на рис.1. Составляя одно целое с рабочей камерой, вставка должна обеспечить зарождение циркуляции в среде при большей ее высоте (или при меньшей амплитуде колебаний) за счет возбуждающего воздействия на среду. Обтекаемая форма вставки, ориентирована так, чтобы не создавать сопротивление движущейся среде. Кроме того, вставка исполняет роль виброротка, по которому среда с деталями начинает движение к виброситу при разгрузке.

Рабочая камера с вертикальной осью, изображенная на рисунке 2, является многокольцевой и обладает возможностью проводить обработку в разных средах или одновременно обрабатывать разные детали в одинаковых условиях. Это позволяет сократить время и площадь, затрачиваемую на производственные операции.

Аналогичные результаты могут быть достигнуты с помощью многокольцевой рабочей камеры с горизонтальным расположением оси. Оба варианта обеспечивают эффективную обработку и оптимизацию рабочих процессов. Они позволяют улучшить производственные показатели и повысить эффективность работы цеха (рис. 3). Многовитковая рабочая камера с вертикальным расположением оси вибратора (рис. 4) пред-

ставляет собой развитие схемы рабочей камеры "спиратрон". С ростом количества витков увеличивается путь и время, проведенное деталями в обрабатывающей среде. При этом, если высота всего блока соответственно увеличивается при правильном расположении упругой подвески, это позволяет плавно изменять амплитуду колебаний по вертикали. Многовитковая рабочая камера с горизонтальной осью (рисунок 5) предоставляет возможность "свернуть" длинную рабочую камеру в компактный виток и обеспечить непрерывную обработку потока деталей. Это также гарантирует возвращение среды в начальный виток.

На рисунке 6 можно видеть многоканальную планетарную рабочую камеру с вертикальной осью. Несколько кольцевых камер концентрично расположены на общем диске. Помимо экономии производственной площади и снижения энергозатрат, различные каналы расположены на разном расстоянии от оси вибратора, что позволяет обеспечить различный режим циркуляции обрабатывающей среды. Это позволяет проводить как грубую, так и более тонкую обработку последовательно в различных каналах, даже с использованием сред разной характеристики.

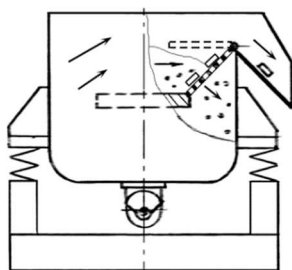


Рисунок 1. Камера со вставкой

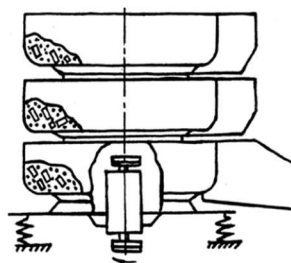


Рисунок 2. Многокольцевая камера с вертикальной осью

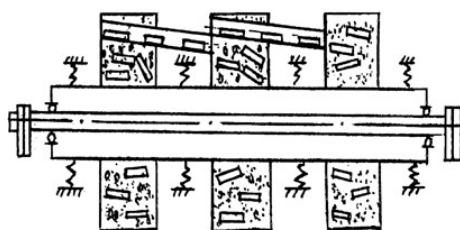


Рисунок 3. Многокольцевая камера с горизонтальной осью

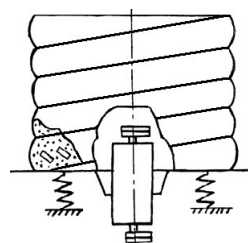


Рисунок 4. Многовитковая камера с вертикальной осью

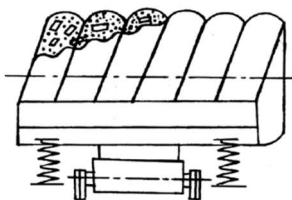


Рисунок 5. Многовитковая камера с горизонтальной осью

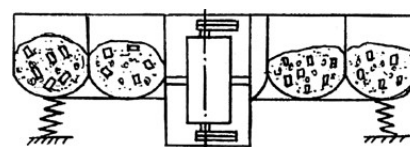


Рисунок 6. Многоканальная планетарная камера с вертикальной осью

На рисунке 7 изображена многовитковая планетарная рабочая камера с вертикальной осью. Горизонтальный диск содержит спиральный многовитковый канал, позволяющий значительно удлинить путь пребывания детали в обрабатывающей среде, не увеличивая рабочую площадь.

Для развития данной схемы, на рисунке 8 рассматривается вариант разворота рабочей камеры на 90° и изменения оси на горизонтальное положение.

В конструкциях вибрационных станков с прямоугольной рабочей камерой часто используется резонансная схема для обеспечения эффективности. Особый интерес представляет резонансная схема станка на рисунке 9, с торовой рабочей камерой, объединяющей преимущества торовой компоновки с высокой амплитудой для обеспечения движения среды, например, стальных шаров.

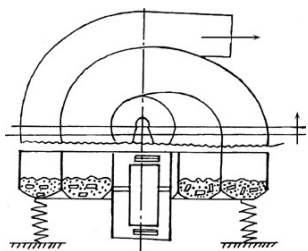


Рисунок 7. Многовитковая планетарная камера с вертикальной осью

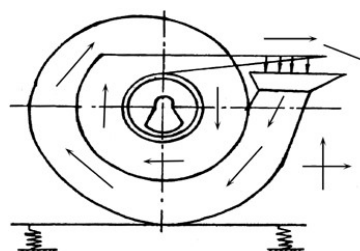


Рисунок 8. Многовитковая планетарная камера с горизонтальной осью

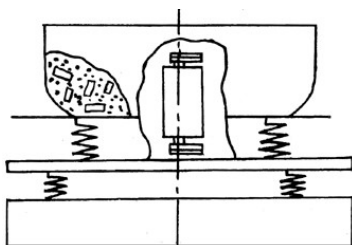


Рисунок 9. Схема торового резонансного станка

Перечисленные варианты схем рабочих камер, представляя интерес с точки зрения повышения производительности, удобства в работе и расширения технологических возможностей, достаточно сложны конструктивно и не исследованы. Для их апробации необходимо проведение комплекса поисковых работ по моделированию как динамики массы загрузки, так и системы подвески и вибровозбуждения.

Несмотря на внешнюю простоту конструкции вибростанка, внутри рабочей камеры происходят достаточно сложные явления, что создает определенные трудности при проектировании технологических процессов. Обязательным условием эффективности и качества всех перечисленных технологических операций является обеспечение устойчивого и достаточно интенсивного движения рабочей среды в рабочей камере вибрационного станка. В связи с этим возникает ряд задач, которые требуют принятия эффективных технологических решений. Например, решение задачи о возбуждении колебаний рабочей камеры с нужной формой траектории практически невозможно без использования достаточно мощных вычислительных средств [2, 3], т.к. подвеска камеры представляет собой колебательную систему с большим числом степеней свободы. Вибровозбудитель, совершая колебания вместе с рабочей камерой, испытывает воздействие инерционных сил, передающихся двигателю конечной мощности. Учет этого явления представляет весьма сложную нелинейную задачу, которую аналитически решить невозможно. Не менее сложной задачей является расчет массы загрузки гранулированной среды. Вопросы динамики быстрых движений гранулированных сред являются в настоящее время областью интенсивного приложения сил механиков, специализирующихся в области нелинейных и стохастических систем. В конечном итоге вибра-

ционный станок должен обеспечить движение среды с необходимой интенсивностью и устойчивостью.

Технологическое воздействие на изделие в процессе вибрационного оборудования осуществляется через множество микроударов частиц рабочей среды на его поверхность. Создание требуемых параметров движения гранулированных частиц в рабочей камере является основной функцией вибрационного станка. Важно рассмотреть основные закономерности создания и поддержания движения гранулированной среды при использовании механических вибраций.

При воздействии вибраций происходят превращения в массе загрузки, характер и интенсивность которых зависят от силы этого воздействия.

По мере увеличения интенсивности вибраций, мерой которой обычно служит параметр [3]:

$$\Gamma = \frac{A \cdot \omega^2}{g} \quad (1),$$

где A - амплитуда колебаний, ω - угловая частота, g - ускорение свободного падения.

Под воздействием ускорений, не превышающих g , масса загрузки приобретает подвижность, теряя сцепление между гранулами и уплотняясь за счет более плотной укладки. Однако такое состояние не является оптимальным для работы вибрационного станка.

Увеличение интенсивности колебаний может привести к виброкипению, при котором частицы теряют контакт между собой, что сопровождается интенсивным перемешиванием и разрыхлением материала. Критические ускорения, вызывающие циркуляционное движение, зависят от свойств материала и других параметров, влияющих на диссипацию энергии в окружающей среде.

Диссипация энергии в сыпучих материалах представляет сложный процесс, вызванный различными факторами, такими как трение между частицами, движение в жидкой или газовой среде, необратимые деформации и другие. В результате воздействия вибраций происходит передача силовых импульсов между слоями материала, сопровождающаяся ослаблением их по мере распространения.

В процессе вибрационной циркуляции в рабочей камере происходит изменение перемещения слоев и уменьшение скорости с удалением от источника вибрации. В результате, в режиме с подбрасыванием, нижний слой, передавая энергию вышележащим слоям, начинает двигаться в обратном направлении, приводя к разрыхлению материала.

Существует множество методов моделирования динамики движения гранулированных материалов в вибрирующих камерах. Одной из простейших моделей является одномассовая модель виброперемещения по наклонному лотку. Хотя эта модель описывает основные тенденции движения материала, она не всегда точно согласуется с экспериментальными данными из-за отсутствия учета внутренней структуры материала.

Усложнение одномассовой модели виброперемещения происходило путем учета взаимодействия частиц в слое. С помощью модели слоя в виде цепочки упруго связанных масс удалось предсказать зависимость максимальной высоты бункеруемой среды от угла вибрации β , длины вибрирующей поверхности l , коэффициента восстановления при ударе масс о вибрирующую поверхность R и коэффициента трения λ :

$$h_{\max} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} \cdot \frac{1 - R}{1 + R} \cdot l \cdot \operatorname{ctg} \beta \quad (2)$$

При проведении исследований необходимо учитывать, что выбор параметров цепи осуществляется на основе эмпирического подхода. Стремление состоит в том, чтобы достичь совпадения между теоретическими расчетами и реальными экспериментальными данными. Необходимо отметить, что информация о выборе этих параметров отсутствует даже для наиболее распространенных сценариев. Кроме того, по мере движения цепи вверх, эти характеристики подвержены изменениям. В результате модель цепи можно считать лишь ориентировочной и описательной.

Другая модель – с сосредоточенными параметрами – является моделью одно- и многомассных композитных упруго-вязко-пластических тел. С помощью этих моделей можно описать поведение среды при ее перемешивании в процессе вибрации рабочей камеры или вращения шнека, что дает возможность выразить энергозатраты процесса. Однако, как и все модели с сосредоточенными параметрами, она не может прогнозировать поведение потоков среды. Кроме того, реологические характеристики определяются только из опыта. Изменив среду, форму рабочей камеры, режимы колебаний на значительную величину, необходимо создавать новую модель, отвечающую механике измененного процесса.

Моделирование движения гранулированных систем с успехом применяется благодаря использованию компьютерных методов [2–4]. Существует несколько подходов, которые, варьируя методы и алгоритмы, позволяют смоделировать движение гранулярных материалов во времени при заданных параметрах виброкамеры и свойствах частиц. Применяя процедуры усреднения и гипотезы о напряжениях в среде, можно вычислить воздействие среды на стенки рабочей камеры и на поверхность обрабатываемой детали. Такой подход способствует точному определению обратного воздействия массы загрузки на систему вибровоздействия и прогнозированию процесса обработки изделий.

Однако для эффективного использования компьютерных систем требуются экспериментальные данные о параметрах взаимодействия гранул, а также о контакте между ними и поверхностью камеры. Необходимо провести серию экспериментов для проверки соответствия кинематических, динамических и технологических параметров движения, полученных в результате моделирования. При соблюдении этих условий можно решить задачу проектирования рабочих камер вибростанков для оптимизации процесса вибрационной обработки.

В связи с вышеизложенным появилась необходимость проведения экспериментальных исследований параметров взаимодействия частиц среды с облицовкой вибрационной камеры. В качестве исследуемых гранул использовались фарфоровые и стальные шары при их косом ударе о плоскую поверхность. Так как рабочая среда приводится в движение за счет взаимодействия отдельных частиц со стенкой рабочей камеры, имеющей соответствующую облицовку, характеристика облицовки является существенной для оценки транспортирующих свойств стенок камеры. Облицовки выполнялись из стали 3, алюминиевого сплава АВТ, вулканизированной резины или винипласта. При этом облицовки исследовались в сухом и увлажненном водой состоянии. На рис. 10 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований.

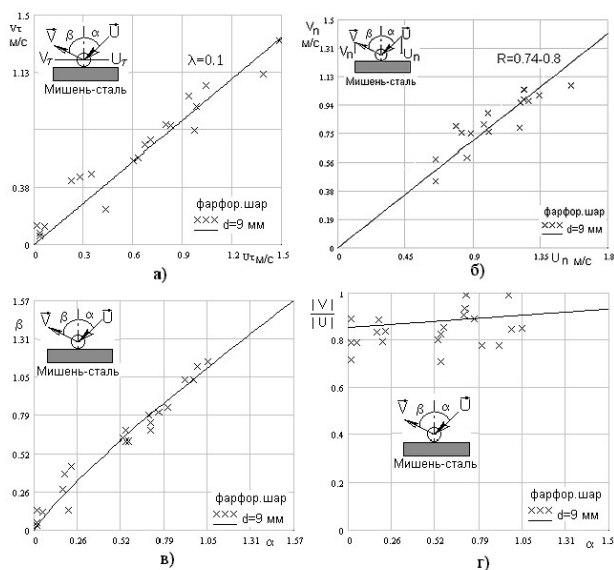


Рисунок 10. Экспериментальные зависимости для косо го удара сферы (фарфоровый шар) о плоскость (сталь Ст3 сухая и увлажненная): а) касательной компоненты скорости отскока от касательной компоненты скорости падения; б) нормальной компоненты скорости отскока от нормальной компоненты скорости падения; в) угла отскока от угла падения; г) отношения модулей скоростей частицы от угла падения

Скорость полета частиц регулировали в пределах 0.5-2 м/сек с помощью маятникового копра, которым наносили удар по покоящейся частице. Скорости движения частиц определялись по видеозаписи. После обработки результатов видеозаписи и анализа актов взаимодействия частиц рабочей среды с исследованными материалами обшивки построены зависимости, представленные на рис.10. Значения углов приведены в радианах.

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Касательная компонента отраженной скорости не зависит от нормальной компоненты скорости падения частицы. Это говорит о вязком характере трения частиц о плоскость для всех исследованных ударных пар и скоростей. Сухое трение никогда не наблюдалось. Даже при наибольших значениях параметра трения нет углов падения, отличных от нуля, когда отскок происходит по нормали. Графики зависимостей между углами всегда выгнуты вверх, т.е. углы отражения не превосходят углов падения, что может наблюдаться только при вязком трении. Следовательно, при исследованных энергиях удара применима только гипотеза вязкого трения.

2. Так как экспериментальные точки, соответствующие различным скоростям и размерам частиц, хорошо накладываются на одни и те же линии, параметры процесса соударения неизменны во всем исследованном диапазоне скоростей (0,3 - 2 м/с) и размеров частиц одного материала.

3. Абразивные частицы всегда имеют значительно больший коэффициент мгновенного трения, чем стальные шарики. Представляет интерес сравнение параметров трения и нормального восстановления при ударе о сухую и увлажненную поверхность. На соударение абразивных частиц с любыми поверхностями влажность практически не влияет. Изменение параметров не превосходит погрешности измерений. Тот же результат получен для соударения любых частиц с поверхностью металла.

4. Увлажнение резиновой и полиуретановой поверхности существенно влияет на процесс соударения со стальными шариками. Увлажнение резины снижает коэффициент мгновенного трения в 3 - 4 раза.

3. Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Вибрационная отделочно-зачистная обработка благодаря широким технологическим возможностям применяется в различных областях машиностроения и имеет перспективы развития в части комбинирования видов используемой энергии, создания новых рабочих сред и технологических жидкостей, повышения эффективности управления динамикой рабочей среды за счет совершенствования систем вибровозбуждения и динамических свойств рабочих камер.

2. Многолетний опыт исследователей и результаты фундаментальных работ в области динамики гранулированных сред показывают, что динамика процесса ВиО очень чувствительна к таким параметрам рабочей камеры, как форма и размеры в связи с траекторией движения, упругие характеристики подвески, свойства облицовки и рабочей среды. Сравнительно небольшие изменения того или иного фактора могут существенно изменить динамические и, следовательно, технологические характеристики процесса как абразивной, так и упрочняющей виброобработки.

3. За последние годы предложены десятки конструкций вибрационных рабочих камер, из них отдельные испытаны и согласно данным авторов имеют достаточно высокую интенсивность обработки. Однако тот факт, что новые предложенные конструкции практически не нашли применения в промышленности, является следствием малой изученности вопросов влияния характеристик рабочей камеры на динамику среды и процесса в целом.

4. Работы, посвященные изучению влияния формы рабочей камеры, носят, в основном, частный эмпирический или умозрительный характер. Их результаты не всегда согласуются друг с другом, редко поддаются воспроизведению другими исследователями, что сдерживает их применение в производственной и исследовательской практике.

5. Полученные в ряде работ результаты исследований и модели динамики технологических рабочих сред дают правильное описание элементарных процессов в рабочей камере, но из-за отсутствия экспериментально обоснованных значений параметров этих процессов и большой аналитической сложности применения названных моделей к задачам движения среды практически не могут быть использованы для оптимизации их формы.

6. Исследования динамики движения среды внутри рабочих камер позволит применить компьютерное моделирование технологического процесса вибрационной обработки, прогнозировать результаты обработки, что, в свою очередь, значительно расширит область применения вибрационной обработки при проектировании высокоэффективных технологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабичев, А. П., Бабичев, И. А. Основы вибрационной технологии. Изд. ДГТУ, Ростов н/Д, 2008.

2. Шевцов, С. Н. Динамика технологических гранулированных сред в вибрационных станках: Моделирование на основе принципа подобия. "Проектирование технологических машин" Вып.23, М., Изд. МОССТАНКИН, 2016

3. Шевцов, С. Н., Горбунов, Н. Н., Емцов, С. Г., Петряев, А. И. Исследование связи кинематических параметров и обрабатываемых свойств технологической гранулированной среды в контейнере вибрационного станка// *Технология в машиностроении на рубеже XXI века. Сб. статей по материалам Всероссийской науч.-техн. конф.* – Нижний Новгород: НГТУ, 2000.

4. Тамаркин, М. А., Тищенко, Э. Э. Основы оптимизации процессов обработки деталей свободным абразивом / Saarbrücken / Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015.

5. Tamarkin, M. A., Tishchenko, E. E., Murugova, E. V. Technological design processes of vibration processing of particularly accurate parts of agricultural machinery/E3S Web of Conferences. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don, 2021. С. 07032. DOI: 10.1051/e3sconf/202127307032

6. Tamarkin, M. A., Tishchenko, E. E., Murugova, E. V. Design of high precision machining part processes in free abrasives / Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Т. 247. С. 157-164/ DOI:10.1007/978-981-16-3844-2_17

7. Тамаркин, М. А., Тищенко, Э. Э., Тищенко, Р. Г. Разработка модуля автоматизированной системы проектирования технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки в гранулированных средах/Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса. Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции. В рамках Агропромышленного форума юга России: выставок «Интерагромаш», «Агротехнологии». 2021. С. 185–189.

Поступила в редколлегию 23.01.2024 г.