

УДК 624.9.048

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ И КОНСТРУКТОРСКИЙ МОНИТОРИНГ,
КОМПОНЕТИКА И 3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНЫХ ВИБРОСТАНКОВ,
РЕГЛАМЕНТ И ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ МУЛЬТИЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЙ ВИБРООБРАБОТКИ**

Мицьк А.В.

**TECHNOLOGICAL AND DESIGN MONITORING, COMPOSITION
AND 3D VISUALIZATION OF HYBRID VIBRATION MACHINES, REGULATION
AND IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF MULTIENERGY TECHNOLOGIES
OF FINISHING-GRINDING VIBRATION PTREATMENT**

Mitsyk A.V.

Изложены общие сведения и актуальность вопроса технологического и конструкторского мониторинга процесса виброобработки. Приведены принципы конструирования и эксплуатации узлов гибридных вибростанков, а также управление процессом виброобработки. Определены модульные особенности мультиэнергетической технологии и компонетики гибридных вибростанков отделочно-зачистной обработки с использованием принципиальных схем и 3D визуализации. Представлен опыт внедрения мультиэнергетических технологий с регламентом проведения операций отделочно-зачистной обработки деталей промышленных производств.

Ключевые слова: виброобработка, мультиэнергетические технологии, гибридные вибростанки, компонетика, 3D визуализация, конструирование и эксплуатация узлов, управление процессами, опыт внедрения.

Общие сведения и актуальность вопроса.

Постоянное промышленное внедрение и совершенствование процесса вибрационной отделочно-зачистной обработки, поиск путей его интенсификации и расширение технологических возможностей требует создания новых разновидностей метода и соответствующего оборудования для их реализации. Основной предпосылкой к конструкторским и технологическим разработкам является принцип комбинирования различных схем обработки и синтезирование двух и более видов энергетического воздействия на свободную абразивную среду и обрабатываемые детали [1, 2].

Из практики станкостроения известно, что перспективным видом технологического обеспечения являются модульные агрегатированные системы и гибридные станки. Однако, их потенциал в отделочно-зачистной обработке свободной

абразивной средой, подверженной динамическому воздействию вибрационных, центробежных и струйных гидравлических эффектов раскрыт недостаточно. Проблема разработки компоновок технологических систем исследована минимально, что связано с одной стороны с задачей синтеза маршрута обработки детали, сложности ее геометрической формы, габаритными размерами, точностью и шероховатостью формообразующих поверхностей, а с другой стороны с отсутствием общей теории компонетики технологических систем и гибридных вибростанков [3].

Оценивая перспективы вибрационных технологий и оборудования для обработки номенклатуры средне- и крупногабаритных корпусных и тел вращения деталей с малодоступными местами поверхности для традиционных рабочих сред, имеет смысл создание систем и гибридных вибростанков, одновременно использующих как низкочастотные колебания, так и другие схемы энергетического воздействия на рабочую среду и обрабатываемые детали [4].

Анализируя технологию изготовления упомянутых деталей, очевидно, что в условиях массового типа производства их совместная обработка по принципу «внавал» технологически и экономически нецелесообразна, так как при циркуляции содержимого резервуара происходит столкновение деталей, что приводит к дефектам их поверхностей и неисправимому браку. Такая ситуация исключает обработку «внавал» и диктует переход к закреплению деталей при их размещении в резервуаре. Позитивные результаты также достигаются, когда детали, установленные в приспособлении внутри резервуара подвергаются дополнительному виду энергетического воздействия.

Предлагаемые авторами настоящей статьи разновидности способов виброобработки позволили расширить его технологические возможности, применяя мелкодисперсную рабочую среду в виде шлифзерна и различных шлифпорошков, что положительно отразилось на обработке выделенных деталей.

Таким образом, представляет научный и производственный интерес концептуальный подход к созданию новой физики обработки модельного ряда гибридных вибростанков в виде агрегированных технологических систем отделочно-зачистной виброобработки при компонентике которых используется: синтез воздействий вибрационных сил в вертикальной и горизонтальных плоскостях колебательного движения, реализуемых горизонтальными и вертикальными вибровозбудителями; воздействие центробежных сил, реализуемых импеллерами и шпинделем; воздействий вибрационных сил в горизонтальной плоскости колебательного движения и центробежных сил, реализуемых вибровозбудителями импеллерами и шпинделями; воздействий струйного движения потоков жидкости, реализуемых гидродинамическими устройствами.

Принципы конструирования и эксплуатации узлов гибридных вибростанков, а также управление процессом отделочно-зачистной виброобработки.

Микрорезание и упругопластическое деформирование процесса отделочно-зачистной виброобработки, управление которым, а также расширение его технологических возможностей, то есть создание предпочтительных условий для увеличения или уменьшения съема металла и шероховатости поверхности при достижении определенного технологического результата, совершается за счет использования рациональных сочетаний значений амплитудно-частотных и скоростных параметров движения, получаемых при регулировке энергетических источников колебательных и вращательных систем вибростанков.

Исследования показывают, что наилучшие результаты обработки с применением мультиэнергетических технологий достигаются при следующих конструктивных особенностях и условиях аппаратного оформления гибридных вибростанков отделочно-зачистной обработки:

- наименьшее расстояние L между рабочими поверхностями «U» – образного резервуара, то есть его стенками и днищем, и поверхностями обрабатываемых деталей для обеспечения нормальной циркуляции рабочей среды выбирается из условия $L \geq 5d$, где d – размер гранул применяемой абразивной среды;

- высота H «U» – образного резервуара приблизительно равна $3R$ ($H \approx 3R$), где R – радиус днища резервуара;

- наименьшее расстояние L между цилиндрической рабочей поверхностью резервуара и поверхностями обрабатываемых деталей для

обеспечения неразрывного кругового колебательного движения рабочей среды выбирается из условия $L \geq b$, где b – наибольший размер обрабатываемой детали;

- высота H цилиндрического резервуара приблизительно равна $3R$, то есть ($H \approx 3R$), где R – радиус основания резервуара;

- наименьшее расстояние L между рабочей поверхностью цилиндрического резервуара и импеллера, а также поверхностями обрабатываемых деталей для обеспечения неразрывного вращательного и колебательного движения среды выбирается из условия $L \geq b$, где b – наибольший размер обрабатываемой детали;

- высота цилиндрического резервуара из условия обеспечения равномерности давления среды во всех его зонах примерно равна $3R+h$, то есть $H \approx 3R+h$, радиус R цилиндрической части резервуара, принимается равной $R \approx (1,5...1,6)r$, где r – радиус основания резервуара;

- высота h импеллера с целью регулирования силы взаимодействия рабочей среды и обрабатываемых деталей принимается равной $(0,1...0,2)H$, то есть $h \approx (0,1...0,2)H$;

- наименьшее расстояние L в рабочей зоне «U» – образного резервуара, свободное от обрабатываемых деталей, с целью обеспечения равномерности перехода рабочей среды из равновесного состояния в псевдосжиженное выбирается из условия $L \geq b$, где b – наибольший размер обрабатываемой детали;

- высота H «U» – образного резервуара из условия обеспечения равномерности давления псевдосжиженной среды на всех уровнях распространения струйного движения жидкости выбирается не более $(2,0...2,5)R$, то есть $H \leq (2,0...2,5)R$, где R – радиус днища резервуара.

Обрабатываемые детали по отдельности или пакетами базируют и закрепляют на установочных пальцах специальных многоместных, расположенных рядами или по концентрическим окружностям, приспособлений, которые погружают в движущийся с рабочей средой резервуар вибростанка.

Режимы колебательного движения инерционных вибровозбудителей: амплитуда – $0,2...3,0$ мм; частота – $30...70$ Гц.

Скорость вращательного движения шпинделя: $31,5...1440$ об/мин.

Скорость вращения импеллера – $50...1440$ об/мин.

В качестве абразивного наполнителя использовались рабочие среды:

- бой отходов шарошлифовальных кругов АН-2 ТУ2-0306221899-007-97 грануляцией $10...15$ мм;

- минералокерамические гранулы произвольной формы грануляцией 4...6 мм;
- стеклянные шарики типа «бисер» грануляцией 1,5...1,8 мм;
- шлифзерно зернистостью 200...40;
- шлифпорошки зернистостью 32...16.

В качестве жидкого компонента применялся химически-активный раствор на кислотной и щелочной основе.

Модульные особенности мультиэнергетической технологии и компонентики гибридных вибростанков отделочно-зачистной обработки. Опыт внедрения.

Технология и оборудование на основе вертикального вибрационного энергетического воздействия со стороны резервуара и приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 1) предпочтительны для отделочно-зачистных операции черного шлифования до $R_z = 10...5$ мкм с одновременным скруглением острых кромок до $r = 2$ мм и удалением заусенцев толщиной у основания около 0,2 мм [5].

Энергетические источники вибрационного воздействия на абразивную среду и обрабатываемые детали – горизонтальные вибровозбудители, жестко связанные в колебательные системы, соответственно, с резервуаром гибридного вибростанка и с приспособлением для базирования и закрепления обрабатываемых деталей.

Рабочую среду помещают в упруго смонтированный на жесткой опоре «U» – образный резервуар, обрабатываемые детали монтируют на расположенных в продольном и поперечном направлении рядах установочных пальцев многоместной, жестко связанной с инерционным вибровозбудителем колебательной системы, упруго установленной на жесткой опоре с возможностью погружения в рабочую зону резервуара и выхода из нее до и после обработки. Вал колебательной системы приспособления с деталями располагают в непосредственной близости к верхней части резервуара в продольной плоскости, которая совпадает с его вертикальной осью и перпендикулярна его поперечному сечению. Колебательную систему приспособления с закрепленными на нем деталями с помощью инерционного вибровозбудителя приводят в колебательное движение и погружают в колеблющуюся рабочую среду, обеспечивая микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки.

Опыт внедрения. Выполнялась операция удаления облоя с заготовок корпусных деталей малогабаритных электродвигателей. Материал заготовок – алюминиевый сплав АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Метод получения заготовок – отливка в кокиль. Форма заготовок сложная, разнопрофильная, образованная сопряжениями цилиндрических и

криволинейных поверхностей. Имеются ниши, карманы, размеры заготовок 110×80 мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 5,0...2,5$ мкм. Отделочно-зачистная обработка производилась на вибростанке, объем резервуара, которого позволял одновременно разместить 16 деталей. В качестве рабочей среды использовался бой отходов шарошлифовальных кругов АН-2 ТУ 2-0360221899-007-97 с размером гранул 15...20 мм. Режимы движения вибровозбудителя колебательной системы резервуара: амплитуда 1,6...1,8 мм; частота 50 Гц. Режимы движения вибровозбудителя колебательной системы приспособления с деталями: амплитуда 1,0...1,2 мм; частота 50 Гц. Машинное время обработки 30 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, острые кромки скруглены до $R = 1,5...1,8$ мм, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла. Сортировочный контроль качества появления брака не установил.

Технология и оборудование на основе горизонтального со стороны резервуара и вертикального вибрационного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 2) предпочтительны для отделочно-зачистных операции черного шлифования до $R_z = 10...5$ мкм с одновременным скруглением острых кромок до $r = 2$ мм и удалением заусенцев толщиной у основания около 0,2 мм [6].

Энергетические источники вибрационного воздействия на абразивную среду и обрабатываемые детали, соответственно, вертикальный и горизонтальный вибровозбудители, жестко связанные в колебательные системы, с резервуаром гибридного вибростанка и с приспособлением для базирования и закрепления обрабатываемых деталей.

В результате комплексного использования повышенной энергии вибрационного воздействия колебательных систем резервуара и приспособления с деталями, осуществляемого в горизонтальной и вертикальной плоскостях, проводят обработку, удаляют дефектный слой металла и его окислов, достигают требуемую шероховатость поверхности.

Опыт внедрения. Выполняли операцию удаления заусенцев и скругление острых кромок полученных на заготовках деталей крышек малогабаритных электродвигателей после предшествующей обработки на металлорежущих станках. Материал заготовок – алюминиевый сплав АЛ-7 ГОСТ 1583-93. Метод получения заготовок – отливка в кокиль. Толщина заусенцев у основания 0,15...0,18 мм. Форма заготовок сложная, образованная сопряжениями цилиндрических и криволинейных поверхностей. Имеют место глухие

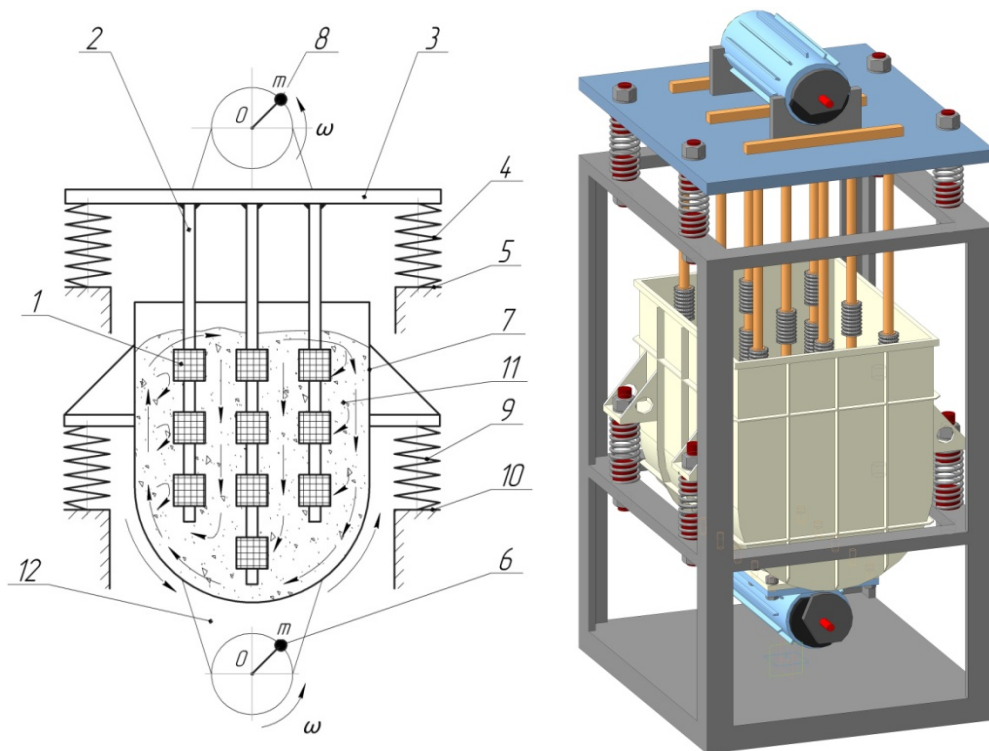


Рис. 1. Принципиальная схема и общий вид компонентки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – детали; 2 – установочные пальцы; 3, 12 – колебательная система; 4, 9 – упругая подвеска; 5 – жесткая опора; 6, 8 – вибровозбудитель; 7 – резервуар; 10 – основание; 11 – рабочая среда

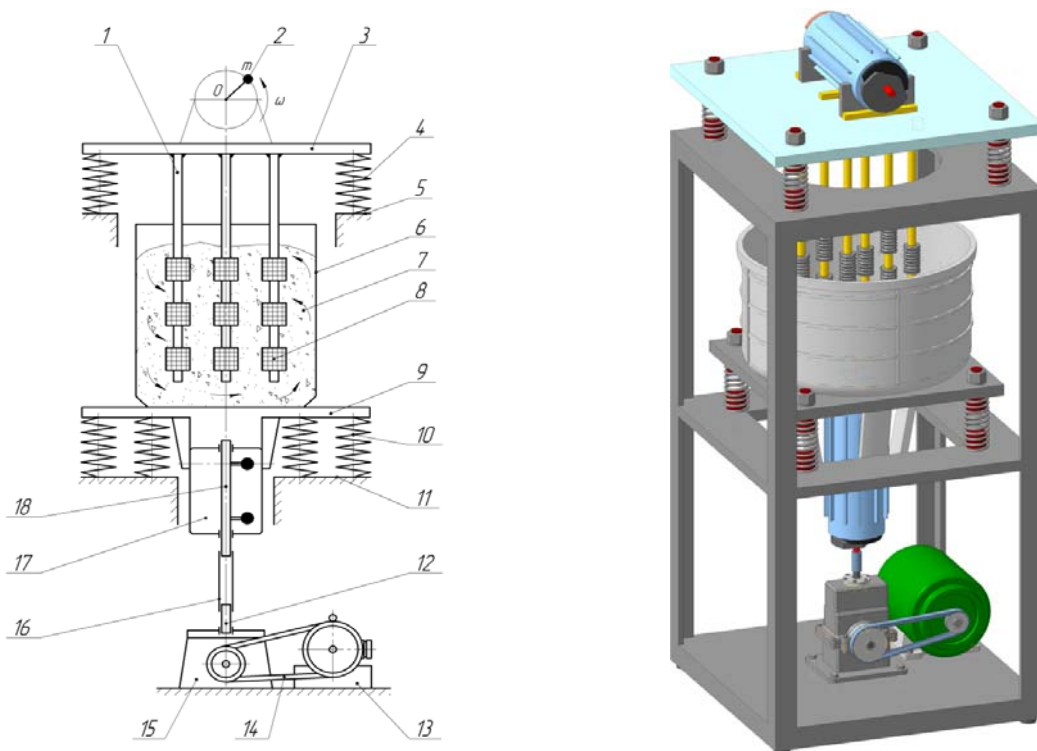


Рис. 2. Принципиальная схема и общий вид компонентки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

и сквозные отверстия различного диаметра, в том числе сквозное центральное, а также ниши и ступенчатые переходы элементов поверхности. Размеры заготовок 100×40 мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм. Отделочно-зачистная обработка проводилась на вибростанке с цилиндрическим резервуаром, объем которого позволял разместить на приспособлении с автономным колебательным движением 60 деталей. В качестве рабочей среды использовались стеклянные шары типа «бисер» диаметром 1,8...2,0 мм. В качестве жидкого компонента в резервуар добавлялся химически-активный раствор на щелочной основе. Режимы движения колебательной системы резервуара: амплитуда 1,5...1,7 мм; частота 50 Гц. Режимы движения колебательной системы приспособления с деталями: амплитуда 1,0...1,2 мм; частота 50 Гц. Машинное время обработки 35 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла. Сортировочный контроль качества обработки появления брака не установил.

Технологии и оборудование на основе центробежного со стороны резервуара и вертикального вибрационного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 3) предпочтительны для отделочно-зачистных операций шлифования до $R_a = 5, 0...2,5$ мкм, одновременно направленных для удаления заусенцев, скругления острых кромок и уменьшения шероховатости поверхности [7].

Источник центробежного энергетического воздействия со стороны резервуара представлен кинематически связанным с ним вращающимся импеллером, источник вибрационного энергетического воздействия со стороны обрабатываемых деталей представлен инерционным вибровозбудителем, жестко связанным с механизмом упруго установленного приспособления для базирования и закрепления обрабатываемых деталей.

При таком техническом решении способа отделочно-зачистной обработки свободной абразивной средой в резервуаре формируют комбинированную схему энергетических воздействий, создающих общий циркуляционный и осциллирующий циклонический характер движения абразивной среды, свободно проникающий ко всем труднодоступным поверхностям обрабатываемых деталей, что приводит к высокой интенсивности обработки.

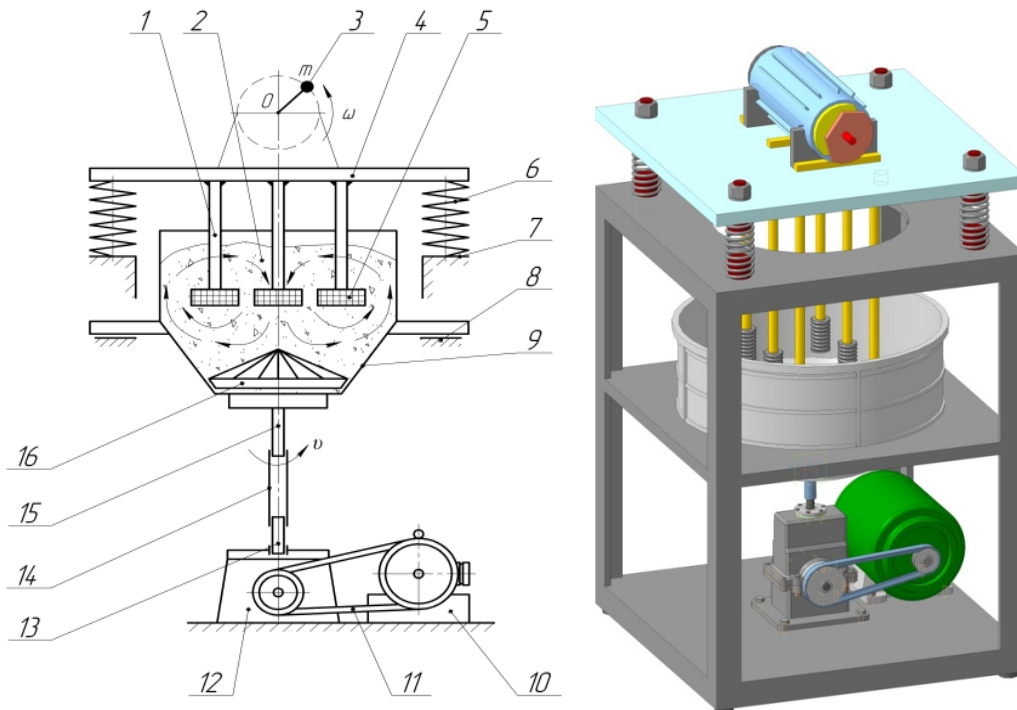


Рис. 3. Принципиальная схема и общий вид компонетики гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

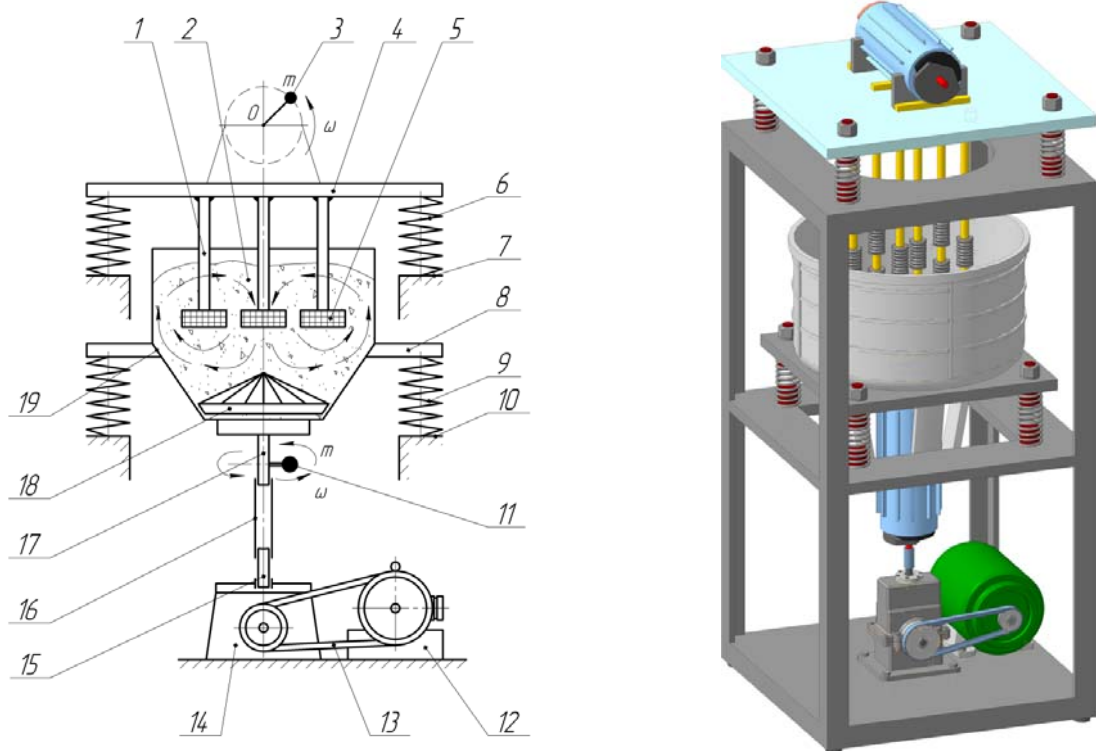


Рис. 4. Принципиальная схема и общий вид компютеризированного гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

Опыт внедрения. Выполняли операцию виброшлифования отделочно-зачистной обработки, одновременно направленную на удаление заусенцев, скругление острых кромок, а также уменьшение шероховатости поверхности до $R_a = 0,63$ мкм на заготовках детали «Шкив» электромеханического привода. Материал заготовок – алюминиевый сплав АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Заготовки получены методом литья в кокиль. Форма заготовок сложная, образованная сопряжениями криволинейных поверхностей. Партия совместной обработки составляла 16 заготовок. В качестве рабочей среды использовался бой шарошлифовальных кругов АН-2 ТУ 2-036-0221899-007-97 с размером гранул 10...15 мм. Режимы обработки: скорость вращательного движения импеллера 800 об/мин; амплитуда колебаний вибровозбудителя 1,6...1,8 мм, частота 50 Гц. Машинное время операции виброшлифования не превышает 40 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, острые кромки скруглены, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла.

Технологии и оборудование на основе комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного со стороны резервуара и вертикального вибрационного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технологии и оборудование (рис. 4) предпочтительны для отделочно-зачистных операций шлифования до $R_a = 5,0...2,5$ мкм, одновременно направленных для удаления заусенцев, скругления острых кромок и уменьшения шероховатости поверхности [8].

Согласно такой технологии обработку проводят при одновременном использовании энергии центробежных и вибрационных сил, воздействующих на рабочую среду, формообразующие свойства которой, обеспечивающие микрорезание и упругопластическое деформирование, проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью любой сложности.

Такой характер комбинированного энергетического воздействия формируется в резервуаре, имеющем форму, совмещенных по условной плоскости оснований, полых фигур цилиндра и усеченного конуса с большей вертикальной осью, при создании в конструкции вибростанка двух, комплексно функционирующих колебательных систем резервуара с импеллером и свободно помещенного в резервуар приспособления для установки обрабатываемых деталей.

Вращающийся импеллер в виде усеченного конуса с гофрированной поверхностью, установленный большим основанием к днищу

резервуара, через вал импеллера, находящегося вне резервуара, жестко связан с инерционным вибровозбудителем, а затем последовательно через гибкую муфту с валом конического редуктора и с помощью клиноременной передачи с электродвигателем. При этом валы инерционных вибровозбудителей колебательных систем конструктивно расположены вблизи к верхней и нижней частям резервуара, а их оси, как и плоскости колебаний перпендикулярны друг другу, причем ось вибровозбудителя колебательной системы резервуара совпадает с вертикальной осью резервуара и перпендикулярна его сечению в плоскости колебаний.

При таком аппаратурном оформлении способа виброобработки, который сопровождается одновременным воздействием на рабочую среду и обрабатываемые детали центробежных и вибрационных сил, в резервуаре вибростанка создается комбинированный характер кругового и волнового движения гранул рабочей среды, свободно проникающих ко всем труднодоступным поверхностям обрабатываемых деталей, что приводит к высокой интенсивности обработки.

Колебательной системе приспособления с деталями сообщают движения в вертикальной плоскости. Далее колебательную систему

приспособления с деталями погружают в движущийся с рабочей средой резервуар, где обеспечивают микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки.

Технологии и оборудование на основе гидродинамического со стороны резервуара и вертикального вибрационного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 5) предпочтительны для отделочно-зачистных операции чернового шлифования до $R_z = 10...5$ мкм с одновременным скруглением острых кромок до $r = 2$ мм и удалением заусенцев толщиной у основания около 0,2 мм [9].

Энергетические источники гидродинамического воздействия на абразивную среду и вибрационного воздействия на обрабатываемые детали, соответственно, гидродинамические устройства, размещенные в нижней части резервуара и формирующие струйное движение подаваемых потоков жидкости и вибровозбудитель, жестко связанный с колебательной системой приспособления с обрабатываемыми деталями.

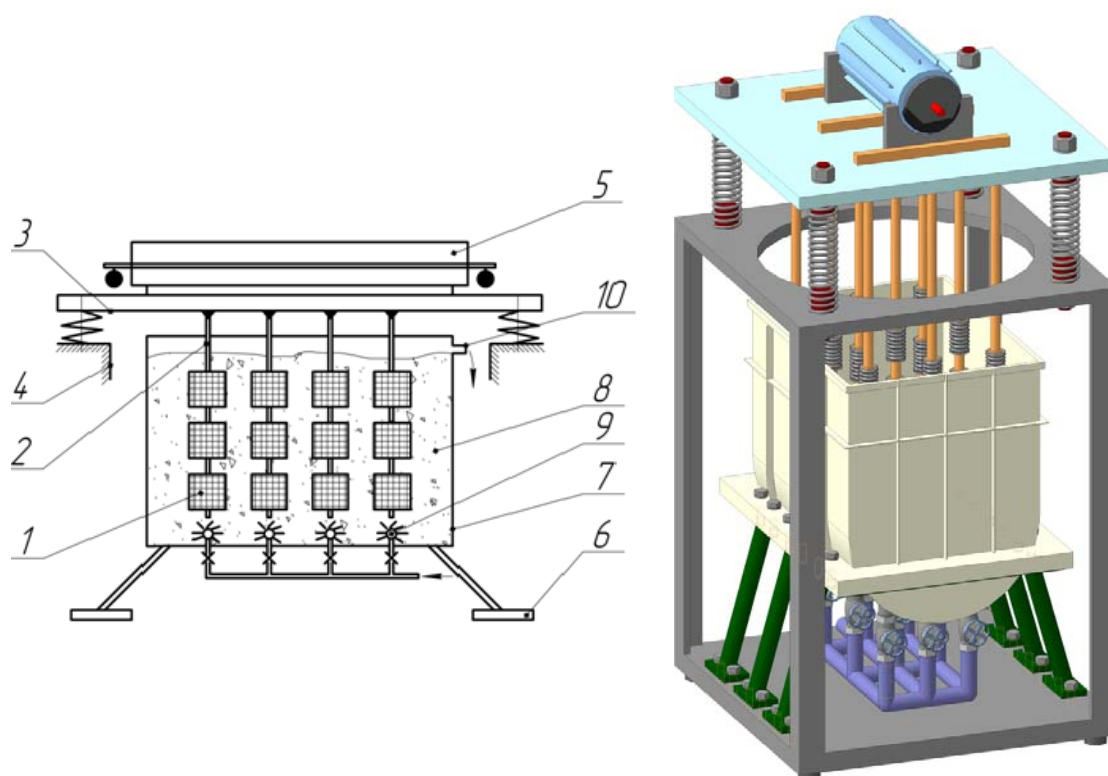


Рис. 5. Принципиальная схема и общий вид компонентки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – обрабатываемые детали; 2 – установочные пальцы; 3 – колебательная система; 4 – опора; 5 – вибровозбудитель; 6 – основа; 7 – резервуар; 8 – рабочая среда; 9 – гидродинамическое приспособление; 10 – отвод

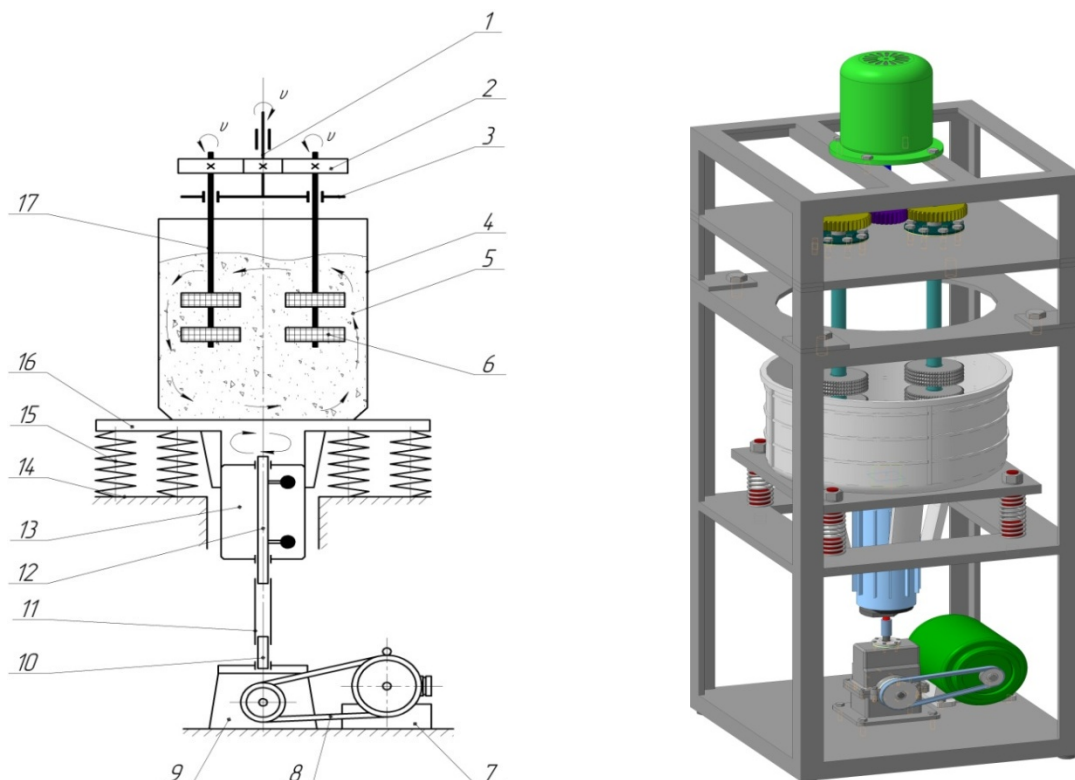


Рис. 6. Принципиальная схема и общий вид компонентки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

Давление и расход жидкости выбирают из условий необходимости для придания рабочей среде свойств псевдоразрежения.

Управление процессом и расширение его технологических возможностей происходит за счет того, что обрабатываемые детали помещают в резервуар с мелкозернистой рабочей средой, размер гранул которой не более 2 мм. Далее среде сообщают плоское колебательное движение и одновременно уплотняют ее колебаниями деталей и разуплотняют струйным движением потоков жидкости, периодически подавая ее в резервуар и регулируя давление и расход из условий технологической необходимости изменения состояния среды от равновесного до псевдорасширенного. При этом микрорезанием и упругопластическим деформированием удаляют дефектный слой металла и уменьшают шероховатость поверхности детали.

Опыт внедрения. Выполняли операцию удаления заусенцев с высотой не более 0,15 мм, скругление острых кромок после предшествующей обработки на металлорежущих станках и дальнейшего шлифования поверхностей деталей «корпус механизма гидросистемы» до $R_a = 0,63$ мкм. Материал детали алюминиевый сплав АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Форма заготовок сложная, имеют место ниши, карманы глухие и

сквозные отверстия, разнопрофильная поверхность которая образована сочетанием малых радиусов с труднодоступными для обработки участками. Размеры заготовки $90 \times 80 \times 70$ мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм. Обработка проводилась на вибростанке, объем резервуара которого позволял одновременно разместить 12 деталей. В качестве рабочей среды использовался шлифпорошок – корунд кремния черный. Режимы движения вибровозбудителя: амплитуда 1,5...1,6 мм; частота 50 Гц. Время обработки 45 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности, которая сохранила естественный оттенок металла. Сортировочный контроль качества появления брака не установил

Технология и оборудование на основе горизонтального вибрационного со стороны резервуара и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 6) предпочтительны для отделочно-зачистных операций шлифования до $R_a = 2,5...1,25$ мкм, $R_a = 1,25...0,63$ мкм с одновременным удалением

дефектов поверхности в виде облоя, заусенцев и скруглением острых кромок [10].

Источник горизонтального вибрационного энергетического воздействия со стороны резервуара представлен инерционным вибровозбудителем, источник центробежного воздействия выполнен в виде приспособления для обрабатываемых деталей, связанного со шпинделем вибростанка передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес, и имеющего возможность погружения в рабочую зону резервуара и выхода из нее до и после обработки.

Режимы энергетического воздействия резервуара и обрабатываемых деталей обеспечиваются следующим образом: вал инерционного вибровозбудителя располагают вблизи к нижней части резервуара в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости его колебаний, и через гибкую муфту соединяют с валом конического редуктора, кинематически связанного клиноременной передачей с электродвигателем, с помощью которого сообщают вращательное движение вибровозбудителю, а затем горизонтальное колебательное движение, шпинделю с обрабатываемыми деталями придают вращательное.

Далее шпиндель погружают в рабочую среду, совершающую в резервуаре круговые колебательные движения в горизонтальной плоскости. При этом совершается микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки.

Опыт внедрения. Выполняли операцию виброшлифования отделочно-зачистной обработки, связанную с удалением заусенцев, скруглением острых кромок на заготовках деталей «Крышка» малогабаритного электродвигателя. Дефекты поверхности образованы предшествующей обработкой лезвийным инструментом. Толщина заусенцев у основания и их высота не превышает 0,2 мм. Материал заготовок АЛ-7 ГОСТ 1583-93, отливка в кокиль. Форма заготовок сложная, со ступенчатыми переходами элементов поверхности, полученных лекальными сопряжениями криволинейных поверхностей. Наибольший габаритный размер 100 мм. Исходная шероховатость $R_a = 2,5$ мкм. Обработывалась партия деталей в количестве 20 штук. В качестве рабочей среды использовался бой отходов шарошлифовальных кругов АН-2 ТУ 2-0360221899-007-97 с размером гранул 10...15 мм. Жидкий компонент процесса виброобработки химически-активный раствор на щелочной основе. Режимы обработки: скорость вращения шпинделя 1000 об/мин; амплитуда колебаний резервуара 1,8...2,0 мм, частота 50 Гц. Машинное время обработки 30...35 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла. Сортировочный контроль качества обработки появления брака не установил.

Технология и оборудование на основе комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного со стороны резервуара и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 7) предпочтительны для операций шлифования отделочно-зачистной обработки до $R_a = 2,5...1,25$ мкм, $R_a = 1,25...0,63$ мкм с одновременным удалением заусенцев, облоя, скруглением острых кромок и уменьшением высоты микронеровности поверхности [2].

Источник вибрационного энергетического воздействия со стороны резервуара представлен инерционным вибровозбудителем, источник центробежного энергетического воздействия со стороны резервуара представлен импеллером.

Источник центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями имеет конструкцию шпиндельного устройства, которая приводит во вращательное движение и погружает в рабочую зону подпружиненного резервуара, заполненного рабочей средой, совершающей плоское колебательное движение. В циркуляционных потоках содержимого резервуара микрорезанием и упругопластическим деформированием проводят обработку, удаляют дефектный слой материала, уменьшают шероховатость поверхности.

Обработку проводят при одновременном использовании энергии вибрационных и центробежных сил, воздействующих на среду, формообразующие свойства которой обеспечивающие микрорезание и упругопластическое деформирование, проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью в любой сложности.

Мелкодисперсную рабочую среду в виде шлифзерна и шлифпорошков, а также абразивные и металлические гранулы, увлажненную химически-активным раствором, помещают в упруго смонтированный на жесткой опоре резервуар, имеющий форму совмещенных по условной плоскости оснований полых фигур цилиндра и усеченного конуса с большей вертикальной осью.

Рабочей среде посредством импеллера в виде усеченного конуса с гофрированной поверхностью, установленного большим основанием к днищу резервуара, от электродвигателя через конический редуктор, клиноременную передачу и гибкую муфту сообщают вращательное движение и одновременно от вибровозбудителя, расположенного на валу импеллера, колебательные движения, шпинделю вибростанка, связанного передачей двухпарного зацепления цилиндрических зубчатых колес с многоместным приспособлением.

На установочных пальцах приспособления, расположенных на концентрических окружностях поотдельности или пакетами монтируют

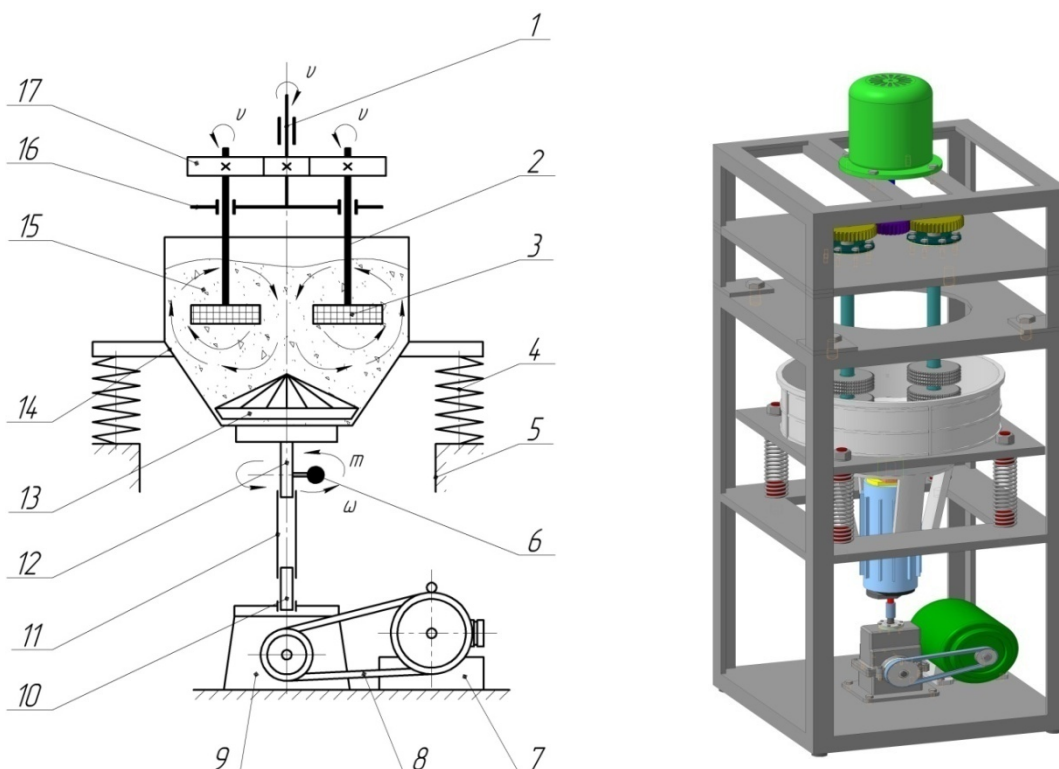


Рис. 7. Принципиальная схема и общий вид компоновки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

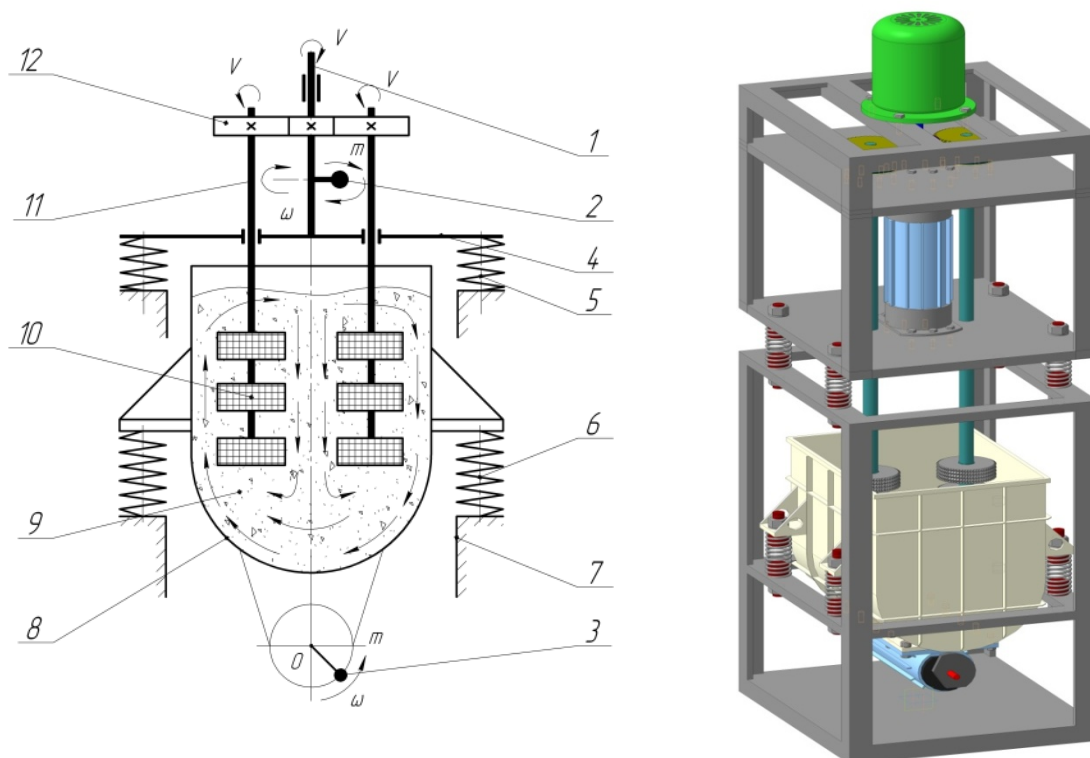


Рис. 8. Принципиальная схема и общий вид компоновки гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

обрабатываемые детали, сообщают вращательное движение и погружают его в движущийся с рабочей средой резервуар. При этом обеспечивается микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки.

Опыт внедрения. Выполняли операцию отделочно-зачистной обработки по удалению заусенцев, скруглению острых кромок, а также виброшлифованию с целью уменьшения шероховатости поверхности до $R_a = 0,63...0,32$ мкм на заготовках деталей корпусов гидроневмосистем после предшествующей обработки на металлорежущих станках, связанной с операциями фрезерования сложных по форме поверхностей и сверления сквозных и глухих отверстий различного диаметра.

Материал заготовок алюминиевый сплав АЛ-7 ГОСТ 1583-93. Технологический метод получения заготовок – отливка в кокиль. Толщина заусенцев у основания $0,15...0,22$ мм. Исходная шероховатость поверхности соответствует $R_a = 2,5...1,25$ мкм. Форма заготовок сложная, образованная различными сочетаниями цилиндрических и криволинейных поверхностей, имеют место ниши, карманы, а также многоступенчатые переходы элементов поверхности. Наибольший габаритный размер заготовки не превышает 120 мм.

Отделочно-зачистная обработка проводилась на гибридном вибростанке, резервуар которого для интенсификации движения рабочей среды был снабжен импеллером в виде усеченного конуса высотой 100 мм. Объем резервуара позволял установить пакетами в приспособлении шпинделя 16 заготовок.

В качестве рабочей среды использовались минералокерамические гранулы произвольной формы с размером $4,0...6,0$ мм. Как жидкий компонент при обработке применялся химически-активный раствор на щелочной основе.

Режимы обработки: скорость вращения шпинделя 1000 об/мин; скорость вращения импеллера 1440 об/мин; частота и амплитуда колебаний резервуара 50 Гц, $1,6...1,8$ мм. Машинное время обработки составило $30...35$ мин. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла. Сортировочный контроль качества отделочно-зачистной обработки появления брака не установил.

Технология и оборудование на основе вертикального вибрационного со стороны резервуара и комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 8) предпочтительны для отделочно-зачистных операций чистового шлифования до $R_a = 0,63...0,32$ мкм [11].

Источник вертикального вибрационного со стороны резервуара энергетического воздействия представлен в виде горизонтального инерционного вибровозбудителя, источник комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями выполнен в виде устройства, связанного со шпинделем вибростанка зубчатой передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес, имеющего возможность погружения в рабочую зону резервуара и выхода из нее до и после обработки.

Такое техническое решение сопровождается одновременным действием на рабочую среду и обрабатываемые детали энергий вибрационных и центробежных сил, которые влияют на рабочую среду, формирующие свойства которой, обеспечивающие микрорезание и упругопластическое деформирование, проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью любой сложности.

В таких условиях процесса в резервуаре создается комбинированная схема энергетических воздействий, которые образуют общий циркуляционный и осциллирующий циклонический характер движения гранул рабочей среды, свободно проникающих ко всем труднодоступным поверхностям обрабатываемых деталей, что приводит к высокой интенсивности обработки.

Мелкодисперсную рабочую среду в виде шлифзерна и шлифпорошков, а также абразивных и металлических гранул, увлажненную химически-активным раствором, помещают в упруго смонтированный на жесткой опоре резервуар, имеющий «U» – образную форму поперечного сечения в плоскости колебаний.

Резервуару от жестко соединенного с ним инерционного вибровозбудителя сообщают колебательное движение.

Соединенное со шпинделем приспособление с помощью инерционного вибровозбудителя установленного на валу шпинделя, приводят в колебательное движение. Одновременно шпинделю придают вращательное движение и погружают его в рабочую зону резервуара с циркулирующей рабочей средой. При этом обеспечивается микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки, осуществляется его управление и расширение технологических возможностей.

Опыт внедрения. Выполняли операцию виброобработки деталей, целью которой было удаление заусенцев, скругление острых кромок с одновременным шлифованием поверхности до $R_a = 0,63$ мкм на заготовках деталей общемашиностроительного производства «Шкив», «Катушка», «Втулка специальная». Наибольший ленточный размер заготовок – 100 мм, наибольший диаметральный размер 60 мм. Материал заготовок – сталь 20 ГОСТ 1050-84. Дефекты поверхностей образованы предшествующими операциями на

металлорежущих станках. Наружная поверхность заготовок деталей сложная, цилиндрической, конической, криволинейной и комбинированной формы с закрытыми уступами и сопряжениями радиусом до 5 мм. Партия совместной обработки – 16 единиц. В качестве рабочей среды использовались абразивные гранулы ПТ 10 ТУ 2-036-925-83 для смачивания которых применялся химически-активный раствор на кислотной основе. Режимы обработки: скорость вращения вертикального шпинделя 900 об/мин; амплитуда его колебаний 1,0...1,2 мм; частота 50 Гц. Амплитуда колебаний резервуара 1,8...2,0 мм, частота 50 Гц. Машинное время операции виброшлифования не превышает 40 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла.

Технология и оборудование на основе горизонтального вибрационного со стороны резервуара и комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями.

Технология и оборудование (рис. 9) предпочтительны для отделочно-зачистных операций чистового шлифования до $R_a = 0,63...0,32$ мкм [12].

Источник горизонтального вибрационного со стороны резервуара энергетического воздействия

представлен в виде вертикального инерционного вибровозбудителя, источник комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного энергетического воздействия со стороны приспособления с обрабатываемыми деталями выполнен в виде устройства, связанного со шпинделем вибростанка зубчатой передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес, имеющего возможность погружения в рабочую зону резервуара и выхода из нее до и после обработки.

Как и в предыдущем варианте технологии, такое техническое решение сопровождается одновременным действием на рабочую среду и обрабатываемые детали энергий вибрационных и центробежных сил, что приводит к высокой интенсивности обработки поверхностей любой сложности процессами микрорезания и упругопластического деформирования.

Обрабатываемые детали по отдельности или пакетами устанавливаются в приспособление на вертикальном шпинделе, который приводит во вращательное движение и помещают в рабочую зону колеблющегося резервуара, установленного с помощью упругой подвески на жесткой опоре и заполненного рабочей средой, в циркуляционных потоках которой удаляют дефектный слой металла и уменьшают шероховатость поверхности.

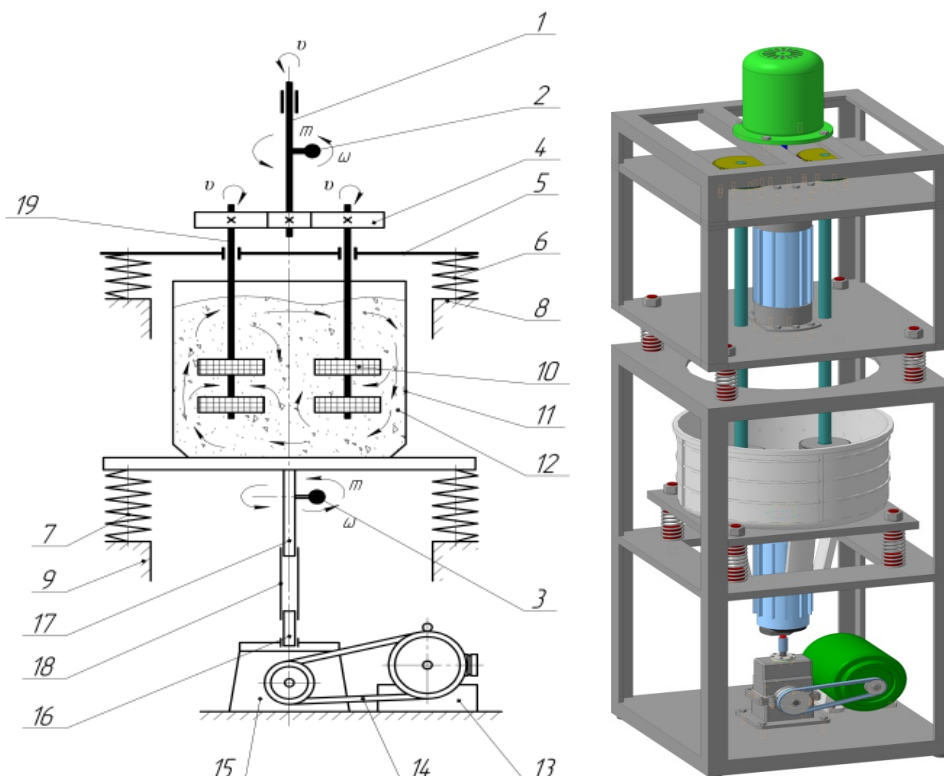


Рис. 9. Принципиальная схема и общий вид компонетики гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

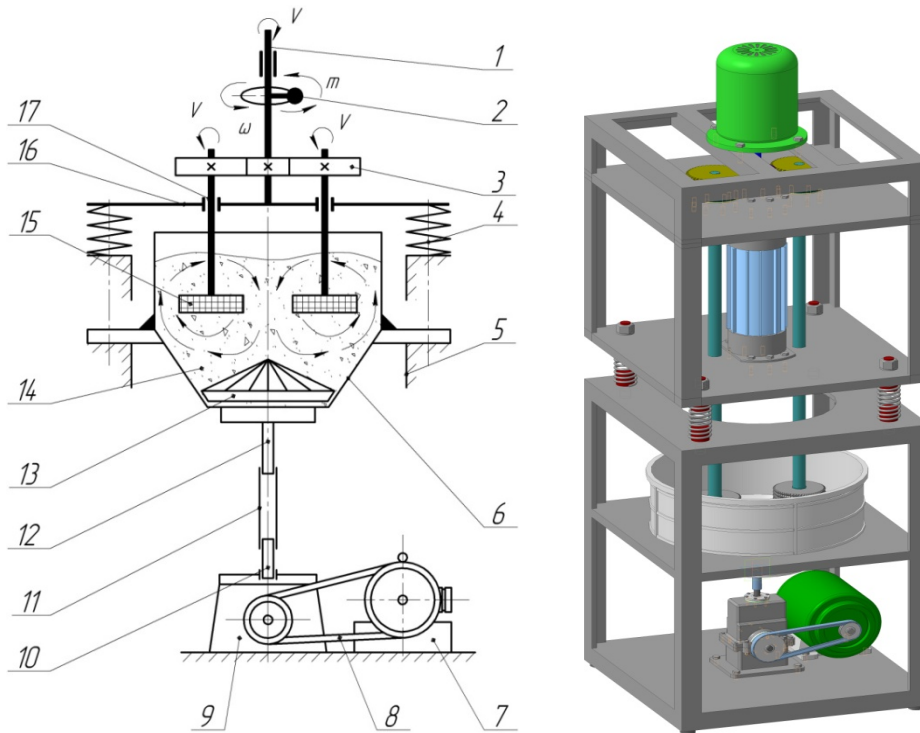


Рис. 10. Принципиальная схема и общий вид компонентики гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

В качестве мелкодисперсной рабочей среды используют шлифзерно и шлифпорошок, в качестве крупнодисперсной абразивные и металлические гранулы, которые помещают в установленный на жесткой опоре с помощью упругой подвески резервуар цилиндрической формы с большей вертикальной осью, вдоль которой смонтирован инерционный вибровозбудитель. Вал вибровозбудителя располагают вблизи к нижней части резервуара в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости его колебаний и через гибкую муфту соединяют с валом конического редуктора, кинематически связанного клиноременной передачей с электродвигателем.

Опыт внедрения. Выполняли операцию виброобработки деталей, целью которой было удаление заусенцев, скругление острых кромок с одновременным шлифованием поверхности до $R_a = 0,63 \dots 0,32$ мкм на заготовках деталей общемашиностроительного производства «Шкив», «Катушка» «Втулка специальная». Наибольший линейный размер заготовок 100 мм, наибольший диаметральный размер – 60 мм. Материал заготовок – сталь 20 ГОСТ 1050-84. Дефекты поверхностей образованы предшествующими операциями на металлорежущих станках. Наружная поверхность заготовок деталей сложная, цилиндрической, конической, криволинейной и комбинированной формы с закрытыми уступами и сопряжениями радиусом до 5 мм. Партия совместной обработки – 16 единиц. В качестве рабочей среды

использовались абразивные гранулы ПТ 10 ТУ2-036-925-83 для смачивания которых применялся химически-активный раствор на кислотной основе. Режимы обработки: скорость вращения вертикального шпинделя 900 об/мин, амплитуда его колебаний 1,0...1,2 мм, частота 50 Гц. Амплитуда колебаний резервуара – 1,8...2,0 мм, частота – 50 Гц. Машинное время операций виброшлифования не превышает 40 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, острые кромки скруглены, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла.

Технология и оборудование на основе центробежного со стороны резервуара и комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного со стороны обрабатываемых деталей энергетического воздействия.

Технология и оборудование (рис. 10) предпочтительны для отделочно-зачистных операций тонкого шлифования до $R_a = 0,32 \dots 0,16$ мкм [13].

При реализации технологии рабочую среду с размером гранул не более 25 мм помещают в жестко установленный резервуар, имеющий форму совмещенных по условной плоскости оснований, полых фигур цилиндра и усеченного конуса с большей вертикальной осью. Рабочей среде по средством импеллера в виде усеченного конуса с гофрированной поверхностью, установленного большим основанием к днущу резервуара, от электродвигателя через конический редуктор,

клиноременную передачу и гибкую муфту сообщают вращательное движение. Шпинделю вибростанка и жестко связанному с ним многоместному приспособлению с обрабатываемыми деталями одновременно передают вращательное движение, а также плоское колебательное движение и погружают его в резервуар с циркулирующей рабочей средой, в которой обеспечивают микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки.

Опыт внедрения. Выполняли операцию отделочно-зачистной обработки связанную с удалением заусенцев, скруглением острых кромок, а также виброшлифованием с целью уменьшения шероховатости поверхности до $R_a = 0,32$ мкм на заготовках детали «Втулка специальная» сложной формы комбинированной сопряжениями цилиндрических, конических и криволинейных поверхностей, с наличием перепадов диаметральных размеров, а также сквозным центральным отверстием, которое использовалось для установки в многоместном приспособлении вибростанка. Дефекты поверхности образованы предшествующими операциями точения и сверления. Материал заготовок сталь 20 ГОСТ1050-84. Толщина заусенцев у основания $0,15...0,18$ мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм. Размеры заготовок: длина 120 мм; наибольший диаметр 80 мм. Партия совместной обработки составляла 16 заготовок. В качестве рабочей среды использовались шары из технического фарфора ГОСТ 20419-83. Рабочая среда и заготовки смачивались химически-активным раствором на щелочной основе. Режимы обработки: скорость вращения шпинделя 800 об/мин; скорость вращения импеллера 1000 об/мин; амплитуда колебаний $1,4...1,6$ мм; частота 50 Гц. Машинное время обработки 35 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, достигнута требуемая шероховатость при естественном оттенке металла.

Технология и оборудование на основе комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного со стороны резервуара и комбинированного центробежного и горизонтального вибрационного воздействия со стороны обрабатываемых деталей.

Технология и оборудование (рис. 11) предпочтительны для отделочно-зачистных операций чистового и тонкого шлифования до шероховатости $R_a = 0,32$ мкм [14].

Технология реализуется свободной абразивной средой в виде шлифзерна и шлифпорошков, а также абразивных и металлических гранул, увлажненных химически-активным раствором. Обработку проводят в упруго смонтированном резервуаре, имеющем форму совмещенных по условной плоскости оснований полых фигур цилиндра и усеченного конуса с большей вертикальной осью. Вращающийся импеллер в виде усеченного конуса с

гофрированной поверхностью устанавливают большим основанием к днищу резервуара. Вал импеллера находящийся вне резервуара жестко связывают с инерционным вибровозбудителем, а затем последовательно через гибкую муфту с валом конического редуктора и с помощью клиноременной передачи с электродвигателем. При этом ось вала вибровозбудителя, конструктивно расположенного вблизи к нижней наружной части резервуара совпадает с вертикальной осью резервуара и перпендикулярна его сечению в плоскости колебаний.

Обрабатываемые детали базируют и закрепляют на установочных пальцах приспособления, связанного со шпинделем вибростанка зубчатой передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес и имеющего при погружении в рабочую зону резервуара возможность вращательного и одновременно колебательного движения, возбуждаемого в горизонтальной плоскости инерционным вибровозбудителем, расположенным на шпинделе вибростанка.

Рабочей среде сообщают вращательное движение со скоростью $50...1440$ об/мин, а также колебательные движения с амплитудой $0,2...3,0$ мм и частотой $30...70$ Гц. Шпинделю вибростанка и жестко связанному с ним приспособлению обрабатываемыми деталями передают вращательное движение со скоростью $31,5...1400$ об/мин и колебательное движение с амплитудой $0,2...3,0$ мм и частотой $30...70$ Гц. Шпиндель и приспособление с обрабатываемыми деталями погружают в резервуар с циркулирующей средой, обеспечивают микрорезание и упругопластическое деформирование процесса виброобработки при удалении дефектного слоя металла и уменьшении чистоты шероховатости поверхности.

Опыт внедрения. Выполняли операцию отделочно-зачистной обработки по удалению заусенцев, скруглению острых кромок, а также шлифованию свободной абразивной средой с целью уменьшения шероховатости поверхности до $R_a = 0,32$ мкм и менее на заготовках деталей корпусов гидропневмосистем после предшествующих операций фрезерования сложнопровильных поверхностей и сверления сквозных и глухих поверхностей различного диаметра. Материал заготовок алюминиевый сплав АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Заготовки получены методом литья, толщина заусенцев $0,15...0,22$ мкм. Форма заготовок сложная, образованная сопряжениями криволинейных поверхностей. Наибольший габаритный размер заготовки не превышает 130 мм. Резервуар лабораторного вибростанка был снабжен импеллером в виде усеченного конуса с высотой 100 мм. Объем резервуар позволял установить

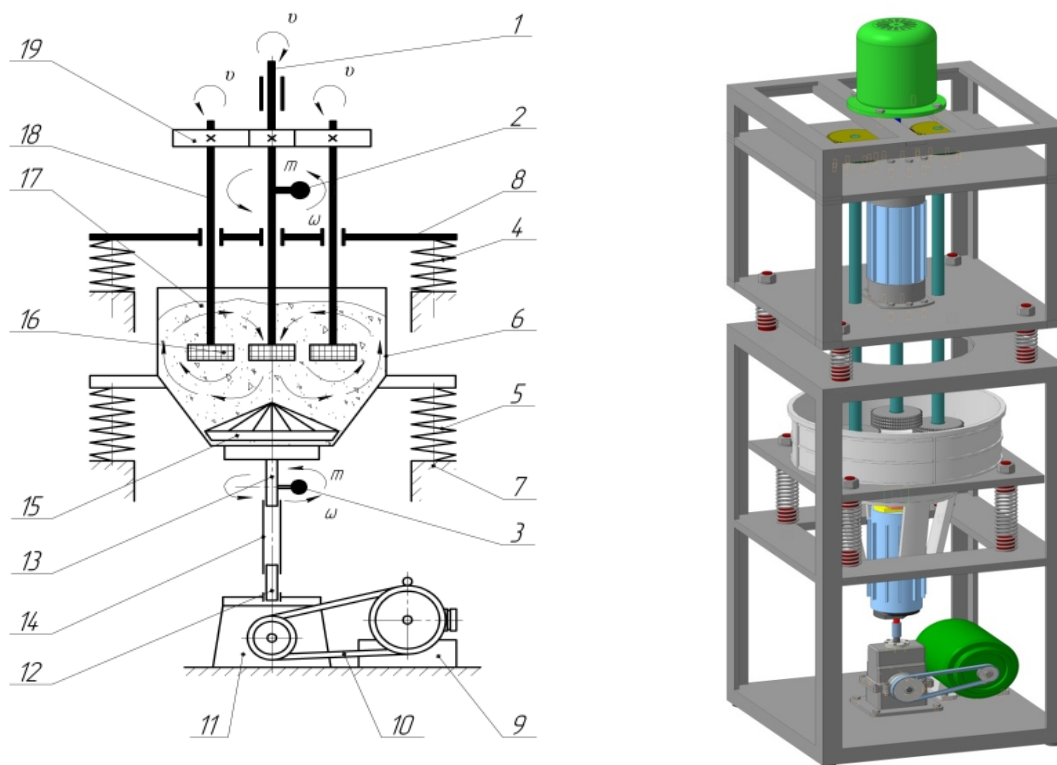


Рис. 11. Принципиальная схема и общий вид компонентики гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

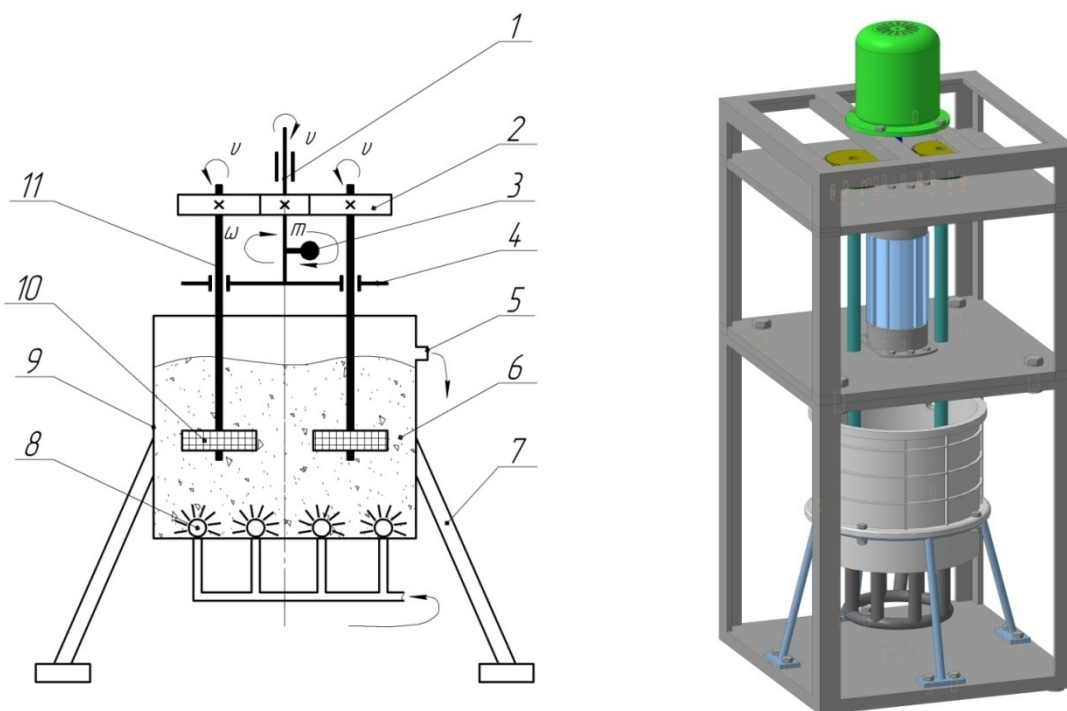


Рис. 12. Принципиальная схема и общий вид компонентики гибридного вибростанка для реализации мультиэнергетических технологий: 1 – установочные пальцы; 2, 17 – вибровозбудитель; 3, 9 – колебательные системы; 4, 10 – пружинная подвеска; 5, 11 – жесткая опора; 6 – резервуар; 7 – рабочая среда; 8 – обрабатываемые детали; 12, 18 – валы; 13 – электродвигатель; 14 – клиноременная передача; 15 – конический редуктор

пакетами в приспособлении шпинделя 8 заготовок. В качестве рабочей среды использовалась минералокерамическая крошка с размером гранул 3...5 мм, смоченная химически-активным раствором на щелочной основе.

Режимы обработки: скорость вращательного движения импеллера 800 об/мин; шпинделя 950 об/мин; амплитуда колебаний вибровозбудителей 1,2...1,4 мм, частота 50 Гц. Машинное время операции виброшлифования не превышает 40 минут. Дефекты поверхности удалены полностью, острые кромки скруглены, достигнута требуемая шероховатость поверхности при естественном оттенке металла.

Технология и оборудование на основе гидродинамического со стороны резервуара и комбинированного горизонтального вибрационного и центробежного энергетического воздействия со стороны обрабатываемых деталей.

Технология и оборудование (рис. 12) предпочтительны для отделочно-зачистных операций тонкого шлифования до шероховатости $R_a = 0,32$ мкм, а также могут быть использованы на операциях полирования до шероховатости $R_a = 0,16$ мкм [15].

При реализации технологии обрабатываемые детали по отдельности или пакетами устанавливаются в приспособлении на вертикальном шпинделе, который приводят во вращательное движение и погружают в рабочую зону подпружиненного резервуара заполненного рабочей средой, совершающей плоские колебательные движения. В циркуляционных потоках содержимого резервуара микрорезанием и упругопластическим деформированием проводят обработку, удаляют дефектный слой металла, уменьшают шероховатость поверхности.

Операции проводят при одновременном использовании вибрационных и центробежных сил, а также сил струйного воздействия движущихся потоков жидкости на мелкодисперсную рабочую среду, формообразующие свойства которой проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью любой сложности.

Мелкодисперсную рабочую среду в виде шлифзерна и шлифпорошков, технического стекла, фарфора и др., с размером гранул не более 2 мм помещают в смонтированный на жесткой опоре цилиндрический резервуар, по площади основания которого симметрично установлены гидродинамические устройства, с помощью которых формируют струйные движения потоков подаваемой под давлением жидкости.

Обрабатываемые детали по отдельности или пакетами устанавливают на расположенных по концентрическим окружностям пальцев многоместного приспособления, связанного со шпинделем с расположенным на его оси

инерционным вибровозбудителем передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес.

Шпинделю вибростанка сообщают одновременные вращательные движения и колебательные движения, погружая его в резервуар с рабочей средой, находящийся в псевдосжиженном состоянии, при этом обеспечивается процесс виброобработки.

Опыт внедрения. Выполняли операцию отделочно-зачистной обработки по удалению заусенцев, скруглению острых кромок, а также виброшлифованию с целью достижения шероховатости поверхности $R_a = 0,32$ мкм на заготовках корпусных деталей. Материал заготовок АЛ-9 ГОСТ 1583-93. Форма сложная, имеют место ниши, карманы, глухие и сквозные отверстия, разнопрофильные поверхности, образованные сопряжением малых радиусов с труднодоступными для обработки участками. Размеры заготовок 90×80×70 мм. Исходная шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм. Резервуар вибростанка позволял одновременно разместить 12 деталей. В качестве рабочей среды использовался шлифпорошок корунда кремния черного зернистостью 32. Режимы обработки: скорость вращения шпинделя 800 об/мин; амплитуда и частота колебаний вибровозбудителя 1,2...1,4 мм, 30 Гц; давление и расход жидкости, подаваемой в резервуар обеспечивал псевдосжиженное состояние рабочей среды.

Выводы. Анализируя общие положения механизма виброобработки, можно констатировать и подтвердить тот факт, что физическая сущность классической технологии отделочно-зачистной виброобработки состоит в том, что помещенная «внавал» в колеблющийся резервуар вибростанка гранулы абразивной среды и обрабатываемые детали с различными скоростями совершают циркуляционное движение по конструктивно заданной траектории. В результате за счет относительного перемещения и взаимного давления гранул и деталей происходят процессы микрорезания и упругопластического деформирования, вызывающие удаление дефектного слоя металла с обрабатываемой поверхности деталей и одновременное уменьшение высоты ее микронеровностей.

Также необходимо дополнить, что в основе механики традиционного процесса виброобработки лежит динамическое взаимодействие рабочих поверхностей резервуара, то есть его стенок и днища с абразивной средой различной характеристики и состава. Характеристика среды по своим физическим, механическим и физико-химическим свойствам может, изменяться в широком диапазоне. Режимы колебаний при обработке деталей могут подвергаться варьированию, как и другие основные параметры технологии.

Далее, если говорить о мультэнергетических процессах и гибридных вибростанках, то необходимо уточнить, что при этом обрабатываемым деталям сообщаются дополнительные виды колебательного или другого движения путем их установки на соответствующие устройства и манипуляторы. Комбинируя различные сочетания конструктивных и технологических параметров, возможно, значительно расширить область эффективного использования отделочно-зачистной обработки на основе создания и внедрения новых разновидностей и технологий, а также современного производительного оборудования для их реализации.

Таким образом, на основе научной и практической информации, изложенной в данной статье, сделаны попытки создания мультэнергетических технологий отделочно-зачистной виброобработки и гибридных вибростанков, относящихся к инновационной технике XXI века.

Л и т е р а т у р а

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
2. Мицьк А.В. Пути интенсификации вибрационной отделочно-зачистной обработки комбинированием схем энергетических воздействий на рабочую среду и детали / А.В. Мицьк, В.А. Федорович // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 6 (83). – С. 26 – 34.
3. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи и др.; под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 289 с.
4. Мицьк А.В. Компонетика агрегатированных технологических систем отделочно-зачистной обработки / А.В. Мицьк, В.А. Федорович // матеріали XXIV Міжнар. наук.-практ. конф. «MicroCAD-2016» 18 – 20 трав. 2016 р., Харків, Україна / НТУ «ХПІ». – Харків, 2016. – С. 131.
5. Пат. 69421 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201112717; заявл. 31.10.2011; опублік. 25.04.2012, Бюл. № 8.
6. Пат. 69420 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201112715; заявл. 31.10.2011; опублік. 25.04.2012, Бюл. № 8.
7. Пат. 73789 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб оздоблювально-зачищувальної обробки вільним абразивним середовищем / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201203028; заявл. 15.03.2012; опублік. 10.10.2012, Бюл. № 19.
8. Пат. 70348 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені

- Володимира Даля. – № у 201113050; заявл. 07.11.2011; опублік. 11.06.2012, Бюл. № 11.
9. Пат. 66646 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201107936; заявл. 23.06.2011; опублік. 10.01.2012, Бюл. № 1.
 10. Пат. 70392 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201113597; заявл. 18.11.2011; опублік. 11.06.2012, Бюл. № 11.
 11. Пат. 72100 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201200041; заявл. 03.01.2012; опублік. 10.08.2012, Бюл. № 15.
 12. Пат. 73788 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201203027; заявл. 15.03.2012; опублік. 10.10.2012, Бюл. № 19.
 13. Пат. 70824 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб оздоблювально-зачищувальної обробки вільним абразивним середовищем / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201114737; заявл. 12.12.2011; опублік. 25.06.2012, Бюл. № 12.
 14. Пат. 73755 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб оздоблювально-зачищувальної обробки вільним абразивним середовищем / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201202604; заявл. 05.03.2012; опублік. 10.10.2012, Бюл. № 19.
 15. Пат. 70391 Україна, МПК В24В31/06. Спосіб віброобробки деталей / А.В. Міцик; власник Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. – № у 201113595; заявл. 18.11.2011; опублік. 11.06.2012, Бюл. № 11.

References

1. Babichev A.P. Osnovy vibracionnoj tehnologii / A.P. Babichev, I.A. Babichev. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2008. – 694 s.
2. Micyk A.V. Puti intensifikacii vibracionnoj otdelocno-zachistnoj obrabotki kombinirovaniem shem jenergeticheskikh vozdejstvij na rabochuju sredu i detali / A.V. Micyk, V.A. Fedorovich // Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia. – 2011. – № 6 (83). – S. 26 – 34.
3. Primenenie vibracionnyh tehnologij na operacijah otdelocno-zachistnoj obrabotki detalej (ochistka, mojka, udalenie obloja i zausencev, obrabotka kromok) / A.P. Babichev, P.D. Motrenko, L.K. Gillespi i dr.; pod red. A.P. Babicheva. – Rostov n/D: Izdatel'skij centr DGTU, 2010. – 289 s.
4. Micyk A.V. Komponentika agregatirovanyh tehnologicheskikh sistem otdelocno-zachistnoj obrabotki / A.V. Micyk, V.A. Fedorovich // materialy XXIV Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «MicroCAD-2016» 18 – 20 trav. 2016 r., Kharkiv, Ukraina / NTU «KhPI». – Kharkiv, 2016. – S. 131.
5. Pat. 69421 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitysk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № у 201112717; zaiavl. 31.10.2011; opublik. 25.04.2012, Biul. № 8.

6. Pat. 69420 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201112715; zaiavl. 31.10.2011; opublik. 25.04.2012, Biul. № 8.
7. Pat. 73789 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib ozdoblivalno-zachyshchivalnoi obrobky vilnym abrazyvnyym sere dovyschem / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201203028; zaiavl. 15.03.2012; opublik. 10.10.2012, Biul. № 19.
8. Pat. 70348 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201113050; zaiavl. 07.11.2011; opublik. 11.06.2012, Biul. № 11.
9. Pat. 66646 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201107936; zaiavl. 23.06.2011; opublik. 10.01.2012, Biul. № 1.
10. Pat. 70392 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201113597; zaiavl. 18.11.2011; opublik. 11.06.2012, Biul. № 11.
11. Pat. 72100 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201200041; zaiavl. 03.01.2012; opublik. 10.08.2012, Biul. № 15.
12. Pat. 73788 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201203027; zaiavl. 15.03.2012; opublik. 10.10.2012, Biul. № 19.
13. Pat. 70824 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib ozdoblivalno-zachyshchivalnoi obrobky vilnym abrazyvnyym sere dovyschem / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201114737; zaiavl. 12.12.2011; opublik. 25.06.2012, Biul. № 12.
14. Pat. 73755 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib ozdoblivalno-zachyshchivalnoi obrobky vilnym abrazyvnyym sere dovyschem / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201202604; zaiavl. 05.03.2012; opublik. 10.10.2012, Biul. № 19.
15. Pat. 70391 Ukraina, MPK V24V 31/06. Sposib vibroobrobky detalei / A.V. Mitsyk; vlasnyk Skhidnoukrainskyi natsionalnyi universytet imeni Volodymyra Dalia. – № u 201113595; zaiavl. 18.11.2011; opublik. 11.06.2012, Biul. № 11.

Міцик А.В. Технологічний та конструкторський моніторинг, компонентіка та 3D візуалізація гібридних віброверстатів, регламент і досвід впровадження мультіенергетичних технологій оздоблювально-зачищувальної віброобрки.

Викладено загальні відомості і актуальність питання технологічного та конструкторського моніторингу процесу віброобробки. Наведено принципи конструювання та експлуатації вузлів гібридних вибростатів, а також управління процесом віброобробки. Визначено модульні особливості мультіенергетичної технології та компонентіки гібридних вибростатів оздоблювально-зачищувальної обробки з використанням принципів схем і 3D візуалізації. Представлено досвід впровадження мультіенергетичних технологій з регламентом проведення операцій оздоблювально-зачищувальної обробки деталей промислових виробництв.

Ключові слова: віброобробка, мультіенергетичні технології, гібридні виброверстати, компонентіка, 3D візуалізація, конструювання та експлуатація вузлів, управління процесами.

Mitsyk A.V. Technological and design monitoring, composition and 3D visualization of hybrid vibration machines, regulation and implementation experience of multienergy technologies of finishing-grinding vibration treatment.

General information and relevance of the issue of technological and design monitoring of vibration treatment process have been outlined. Principles of design and node exploitation of hybrid vibration machines, as well as management of the vibration treatment process have been presented. Modular features of multienergy technology and the composition of hybrid vibration machines of finishing-grinding treatment with using of schematic diagrams and 3D visualization have been determined. Implementation experience of multienergy technologies with the procedure of finishing-grinding treatment of details of industrial production has been presented.

Key words: vibration treatment, multi-energy technologies, hybrid vibration machines, composition, 3D visualization, design and node exploitation, process management, implementation experience.

Міцик Андрій Володимирович – к.т.н., доц., доцент кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Сєвєродонецьк).
an.mitsyk@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 29.09.2017