

УДК 621.924

А.А. Сирота, аспірант,**В.Я. Мицьк, доцент, канд. техн. наук***Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля**кв. Молодежний 20а, г. Луганськ, Україна, 91034**tm@snu.edu.ua***МЕХАНИЗАЦІЯ ОТДЕЛОЧНО-ЗАЧИСТНОЇ ОБРОБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

Приведен анализ промышленных способов механизации отделочно-зачистных операций применительно к деталям общемашиностроительного применения. Дана характеристика нового способа обработки, сочетающего одновременное использование энергий гидроабразивного и центробежного воздействия на протекание процесса.

Ключевые слова: *детали, обработка, мелкодисперсная среда, гидроабразивное воздействие, эжекционное сопло, барботирование, шпиндельное устройство.*

До настоящего времени для машиностроительных производств еще актуальной является задача механизации операций отделочно-зачистной обработки, выполняемых в технологических процессах изготовления широкой номенклатуры средне- и крупногабаритных деталей типа тел вращения различной формы сложности, таких как зубчатые колеса, втулки, шкивы, катушки, плунжеры, гильзы. Конструкция этих деталей образована сочетанием цилиндрических, конических и др. криволинейных поверхностей с малыми радиусами сопряжения, имеют место несимметрично расположенные ниши, карманы, глухие и центральные сквозные отверстия различной глубины и диаметра [1].

Отделочно-зачистная обработка поверхностей деталей упомянутой номенклатуры является важным процессом производственного цикла, включающего операции скругления острых кромок произвольным радиусом, удаление заусенцев от предшествующих операций точения, фрезерования и сверления, шлифование с уменьшением шероховатости, а также очистку поверхностей от различного рода технологических загрязнений. Производственная статистика показывает, что перечисленные операции выполняются с применением ручного труда, что определяет высокую себестоимость выпускаемых изделий при низкой рентабельности и культуре производства. Так, очистка отливок составляет 6...10 %, скругление острых кромок и удаление заусенцев после обработки резанием 10...70 %, шлифование с уменьшением шероховатости поверхности 10...50 % от общей трудоемкости изготовления. Вполне понятно, что от состояния выполнения отделочно-зачистных операций зависит надежность и стабильность работы всевозможных редукторов, электромеханических приводов и гидротепловых агрегатов [2].

Принимая во внимание приведенную информацию, а также учитывая потребность в наполнении рынка недорогими отечественными товарами высокого качества, становится понятной необходимость получения множественных решений поставленной технологической задачи по механизации отделочно-зачистной обработки.

Постоянное развитие науки технологии машиностроения позволило внедрить в целый ряд способов обработки свободной рабочей средой, связанных со скруглением острых кромок, удалением заусенцев и шлифованием поверхностей деталей. Среди них способы в основе которых лежит вибрационное, центробежное и гидродинамическое воздействие на абразивную рабочую среду с различными физико-механическими свойствами и обрабатываемые детали с различными техническими характеристиками, обеспечивающее достижение результата обработки.

Однако, несмотря на промышленное применение известных способов, они по ряду технологических причин не отвечают достижению требуемых результатов при обработке вышеупомянутых деталей типа тел вращения. Так, при использовании виброобрабатывающих технологий выяснилось, что свободная загрузка партии деталей в резервуар вибростанка приводит к их столкновениям в ходе циркуляционного движения совместно с рабочей средой.

Такие негативные особенности процесса виброобработки вызывают появление на обрабатываемых поверхностях дефектов в виде забоин, вмятин и царапин, а именно до 20...25 % как исправимого, так и неисправимого брака. Также при совместной обработке крупных партий не исключается организация сводов деталей и заклинивание резервуара. Устранение исправимого брака за счет увеличения, как минимум в два раза, машинного времени обработки деталей или же их обработка не партиями, а по отдельности, исключает экономическую целесообразность промышленного применения. Кроме того, неприменимость виброобрабатывающих технологий очевидна, в виду того, что в них в качестве рабочих сред традиционно используются гранулы с размером 5...35 мм. Такая грануляция не обеспечивает удаление имеющихся дефектов в нишах, карманах, сопряжениях малого радиуса, отверстиях малого

диаметра и др., которыми изобилуют конструкции деталей сложной формы, и которые могут быть значительно меньше грануляции применяемой рабочей среды.

Что касается центробежных способов отделочно-зачистной обработки выделенных деталей свободной абразивной средой при их помещении в резервуар «в навал», то причины промышленной неприменимости таких способов во многом аналогичны виброобрабатывающим технологиям.

Приведенные выше доводы о технологической неприменимости способов отделочно-зачистной обработки, предусматривающих обработку деталей «в навал», дает возможность предположить эффективность способов обработки, при которых детали находятся в закреплённом состоянии. К таковым относится разновидность как ранее рассматриваемого вибрационного, так и способ гидроабразивной обработки затопленными струями [3].

Анализируя механизм реализации этих способов, можно отметить, что неподвижно закреплённые на установочных приспособлениях детали подвергаются либо однонаправленному действию гранул потоков колеблющейся рабочей среды, либо выбрасываемой из сопла на обрабатываемую поверхность струе гидроабразивной суспензии. Учитывая то обстоятельство, что при гидроабразивной обработке затопленными струями применяется мелкодисперсная рабочая среда, технологически необходимая для доступа ко всем элементам поверхности деталей тел вращения сложной формы, прием для дальнейшего совершенствования именно этот способ отделочно-зачистной обработки.

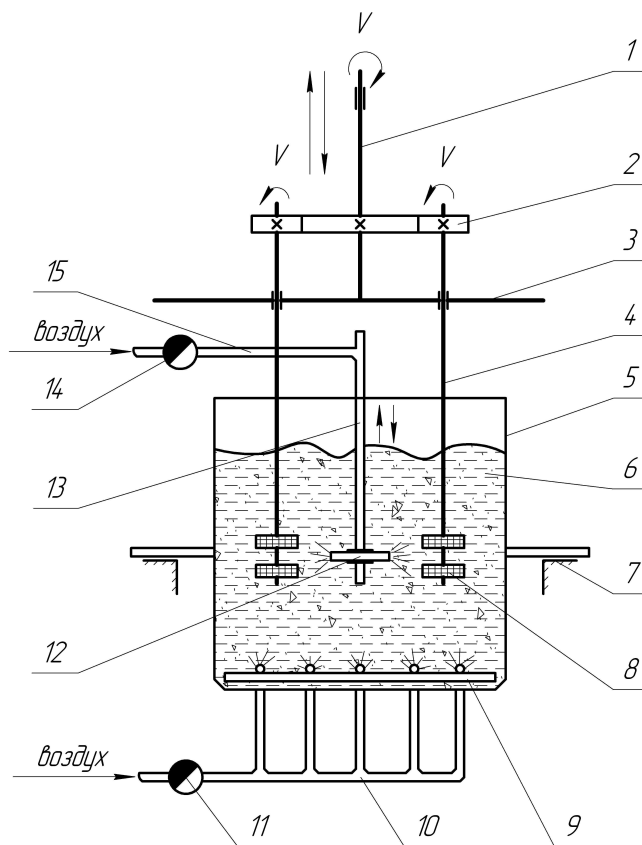


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства для реализации нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями. 1 – шпиндельное устройство; 2 – зубчатая передача; 3 – многоместное приспособление; 4 – установочные пальцы; 5 – резервуар; 6 – рабочая среда; 7 – жесткая опора; 8 – обрабатываемые детали; 9 – барботажная система; 10, 15 – гибкие трубопроводы; 11, 14 – дроссели; 12 – эжекционное сопло струйного аппарата; 13 – штанга

В этой связи в НИЛ «Обработка свободными абразивами» ВНУ им. В. Даля на основе априорных исследований [4] разработан новый способ гидроабразивной обработки затопленными струями, принципиальная схема устройства для реализации которого приведена на рисунке 1. При создании нового способа, механизмирующего отделочно-зачистную обработку деталей общемашиностроительного применения, поставлена задача усовершенствования существующего способа гидроабразивной обработки затопленными струями, путем того, что обработку проводят при одновременном использовании энергии гидроабразивного струйного движения, эжектируемой соплом рабочей среды и

енергии вращательного, относительно сопла струйного аппарата, движения обрабатываемых деталей в этой же, псевдосжиженной барботированием, рабочей среде.

В качестве рабочей среды используется шлифзерно зернистостью 200...40 (F12...F40), а также шлифпорошки зернистостью 32...16 (F54...F90). Кинематика процесса обработки такова, что формообразующие свойства рабочей среды, обеспечивающие микрорезание, позитивно проявляются при равномерном и стабильном контакте с обрабатываемой поверхностью любой сложности.

Принятую комбинированную схему энергетического воздействия формируют в установленном на жесткой опоре резервуаре, по периметру нижней части которого с помощью гибкого трубопровода с дросселем смонтирована барботажная система. В верхней части резервуара на вертикально регулируемой штанге, посредством гибкого трубопровода с дросселем, перпендикулярно касательной обрабатываемой поверхности детали, расположены противоположно направленные сопла струйного аппарата.

Обрабатываемые детали по-отдельности или пакетами базируют и закрепляют на установочных пальцах многоместного приспособления, которое связано с вертикальным шпиндельным устройством зубчатой передачей двухпарного зацепления цилиндрических колес.

При обработке шпиндельному устройству сообщают вращательное движение со скоростью 31,5...1440 об/мин и совместно с обрабатываемыми деталями погружают в рабочую зону резервуара, заполненного рабочей средой, находящейся в псевдосжиженном состоянии. Микрорезание процесса гидроабразивной обработки производится гидроабразивной струей, направленной из сопел струйного аппарата, за счет относительного перемещения рабочей среды и обрабатываемых деталей, совершающих вращательное движение.

Физическая сущность нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями заключается в воздействии высокоскоростной ($v=30...70$ м/с) струи абразивно-жидкостной смеси на поверхность обрабатываемой детали. Как правило, такая струя направляется под углом α к поверхности, который называется углом атаки. След воздействия гидроабразивной струи на поверхность представляет собой эллипсовидное пятно-кратер. Величина снятого металла в центре и по краям кратера значительно отличается: от 5...30 мкм по краям и до 2...3 мм в центре. Поэтому для обеспечения равномерности съема металла по всей обрабатываемой поверхности необходимы вращательные движения детали, которые обеспечиваются вертикальным шпиндельным устройством.

Съем металла в условиях нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями, осуществляется в результате силового ударного воздействия абразивной рабочей среды, при этом частота ударов достигает 10^6 с⁻¹. В этом случае разрушение металла происходит как в результате микрорезания, так и в результате усталостного нагружения металла поверхностного слоя обрабатываемой детали.

Экспериментальный стенд работает как при низком (0,2...0,5) МПа, так и при высоком – до 4 МПа давлении, которое может использоваться для интенсификации более грубых поверхностей деталей. Увеличение давления сжатого воздуха приводит к увеличению кинетической энергии струи гидроабразивной суспензии и, как следствие, к повышению интенсивности обработки. Так, увеличение давления до 4 МПа повышает съема металла в 1,8...2,0 раза. Концентрация абразива в жидкости принималась от 1:1 до 1:3. Выбор зернистости абразива в предлагаемом способе обработки производился исходя из условий, когда для предварительных более грубых операций отделочно-зачистной обработки применялась зернистость F12 (2000...1600 мкм), для окончательных финишных операций – зернистость F30 (800...630 мкм) и более мелкодисперсные абразивы

В состав суспензии кроме воды могут входить кальцинированная сода – до 1 % и поверхностно активные вещества – до 2 %, что обеспечивает дополнительное химическое воздействие на протекание процесса обработки.

Необходимо отметить, что в результате обработки согласно предлагаемого способа поверхностный слой металла обрабатываемой детали глубиной до 45...50 мкм упрочняется и в нем формируются остаточные напряжения сжатия, фазовые изменения металла при этом отсутствуют.

Определяющими факторами для интенсивности нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями, являются угол атаки струи абразивной суспензии на обрабатываемую поверхность вращающейся детали, физико-механические свойства материала детали, а также зернистость используемого при этом абразива. Кроме того увеличение расстояния от сопла струйного аппарата до обрабатываемой поверхности уменьшает величину съема металла. В первом приближении установлено, что на черновых операциях следует использовать длину гидроабразивной струи в 60...70 мм, на финишных операциях – 100...160 мм

Поверхностное разрушение материала детали находится в прямой зависимости от характера воздействия рабочей среды. Различают три схемы разрушения гидроабразивной струей: первая, когда угол атаки ударной струи равен 90°; вторая, когда угол атаки скользящей струи приближен к 0°; третья, когда угол атаки косой струи находится в пределах от 0° до 90°.

Так, при малых углах атаки, вследствие преобладания тангенциальной составляющей скорости силового воздействия абразивной среды, основным процессом разрушения поверхностного слоя обрабатываемой детали будет тангенциальное смещение удаляемого металла в направлении силового воздействия, что формирует процесс микрорезания способа гидроабразивной обработки. При углах атаки близких к 90° , вследствие преобладания нормальной составляющей скорости воздействия среды, механизм разрушения поверхностного слоя детали приобретает характер упруго-пластического деформирования.

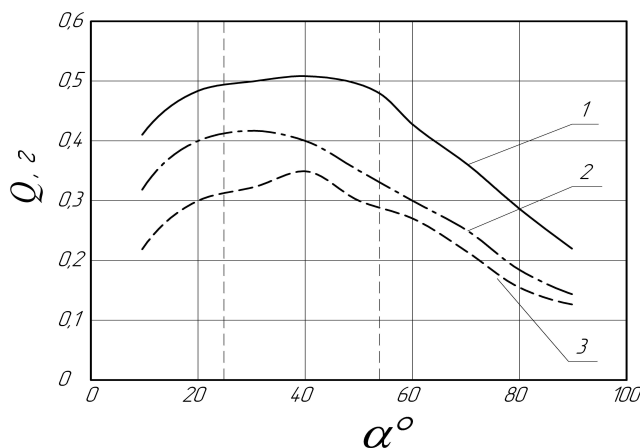


Рисунок 2 – Зависимость съема металла Q от угла α атаки гидроабразивной струи на обрабатываемую поверхность детали и зернистости абразива: 1 – зернистость 12; 2 – зернистость 20; 3 – зернистость 30

Анализ исследований по влиянию угла атаки и зернистости применяемого абразивного материала на интенсивность нового способа гидроабразивной обработки, проведенный на экспериментальном стенде, показал многосторонний, зависящий от различных факторов, характер взаимодействия струи абразивной суспензии с обрабатываемой поверхностью детали. При проведении исследований выбирались одни и те же параметры обработки, а именно: давление сжатого воздуха – 0,5 Мпа, объемная концентрация абразива в суспензии – 1:3, время обработки 2,0 мин. Материал исследуемых образцов сталь 45 ГОСТ 1050-88. Рабочая среда была представлена суспензией песка Гарнет (Индия) с характеристиками: плотность – 4,1; твердость – 7,5 по Моссу; форма зерна – куб; зернистость – 12, 20, 30.

Результаты исследований проиллюстрированы графически на рисунке 2. Установлено, что разрушение поверхностного слоя материала детали наиболее интенсивно происходит при значении угла атаки струи абразивной суспензии меньшим 45° . Такой механизм обработки во многом объясняется преобладанием в данном случае процессом микрорезания.

При углах атаки струи абразивной суспензии меньших 25° , когда динамическое воздействие рабочей среды невелико и абразивный материал недостаточно полно внедряется в обрабатываемую поверхность, вступает в силу отношение глубины h внедрения единичного зерна абразива к радиусу r закругления его режущей кромки, т. е. $h/r \leq 0,5$. В этом случае интенсивность обработки снижается на 20...25%. Данный эффект в равной степени наблюдается при использовании других видов абразивной рабочей среды, таких как карбид кремния черный и электрокорунд нормальный, что подтверждается ранее проведенными исследованиями[4]. Что касается оценки нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями, проведенной с позиции достигаемой шероховатости поверхности обрабатываемой детали, то можно отметить, что изменение шероховатости в зависимости от угла атаки гидроабразивной струи находится в широких пределах. Однако, наибольшее по сравнению с исходной, уменьшение шероховатости находится в диапазоне углов атаки $25^\circ \dots 50^\circ$, что видно из графиков рисунка 2. Весовой съем металла при новом способе отделочно-зачистной обработки составляет (0,2...0,6)г, шероховатость обработанной поверхности при использовании абразива зернистостью F12 (2000...1600мкм) соответствует $Ra=2,5 \dots 2,0$ мкм, при зернистости абразива F30 (800...630мкм) – $Ra=1,25 \dots 0,63$ мкм. Поскольку интенсивность разрушения поверхностного слоя материала обрабатываемой детали во многом зависит от упругопластических свойств материала, то следует ожидать, что по мере снижения этих свойств будет расти доля упругого восстановления и уменьшаться шероховатость обработанной поверхности.

Управление процессом гидроабразивной обработки, а так же расширение его технологических возможностей осуществляется при использовании рациональных сочетаний значений скорости вращения

шпиндельного устройства, а также давления воздуха, подводимого к барботажной системе и струйному аппарату.

Экспериментальные обработки, проведенные согласно новому, описанному выше способу, выявили ряд технологических условий, обеспечивающих стабильность его протекания при достижении требуемого результата, а именно: наименьшая длина L участка рабочей зоны резервуара, свободного от обрабатываемых деталей, с целью обеспечения равномерности перехода рабочей среды из неподвижного статического состояния в псевдосжиженное, должна выбираться согласно $L \geq b$, где b – наибольший размер обрабатываемой детали; высота h уровня заполнения резервуара псевдосжиженной рабочей средой с целью обеспечения равномерности давления на всех уровнях распространения действия воздушной струи барботажной системы должна приниматься равной $(0,7...0,8)H$, где H – высота резервуара, т.е. $h=(0,7...0,8)H$.

При описанном выше техническом решении нового способа гидроабразивной обработки затопленными струями, который сопровождается одновременным воздействием энергий струйного гидроабразивного и вращательного движения, формируется характер протекания процесса, при котором мелкодисперсная рабочая среда свободно проникает ко всем труднодоступным поверхностям деталей типа тел вращения сложной формы, что приводит к высокой интенсивности нового способа, решающего задачи механизации отделочно-зачистной обработки деталей общемашиностроительного применения.

Библиографический список используемой литературы

1. Определитель деталей общемашиностроительного применения. Руководящий механический материал Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции / Под ред. Е.А. Панфилов, Ю.И. Блохин, Л.М. Кулик, Б.А. Погодин, Г.М. Шнайман. — М.: Изд-во стандартов, 1977. — 235 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. Сирота А.А. Эффективность отделочно-зачистной обработки ударным гидроабразивным воздействием свободной рабочей среды / А.А. Сирота, В.Я. Мицьк // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. — 2011. — № 45. — С. 353–358.
4. Цыгановский А.Б. Технологические возможности гидроабразивной обработки затопленными струями / А.Б. Цыгановский // *Вібрації в техніці та технологіях*. — 2010. — № 2 (58). — С. 205–215.

Поступила в редакцию 13.03.2012 г.

Сирота О.А., Міцьк В.Я. Механізація оздоблювально-зачишувальної обробки деталей загальномашинобудівного використання

Наведено аналіз промислових способів механізації оздоблювально-зачишувальних операцій щодо деталей загальнобудівного використання. Дана характеристика нового способу обробки, який сполучає одночасне використання енергій гідроабразивного та центробіжного впливу на протікання процесу.

Ключові слова: деталі, обробка, дрібнодисперсне середовище, гідроабразивний вплив, ежекційне сопло, барботування, шпиндельне устаткування.

Sirota A.A., Mitsyk V.Y. Mechanization of finishing-grinding processes of the parts of general-mashinebuilding application

The analysis of industrial methods of mechanization of finishing-grinding operation applied to the parts of general-mashinebuilding application has been given. The characterization of new method of treatment which combines a simultaneous use the energy of hydroabrasive and centrifugal action on to the process performance has been given.

Keywords: parts, processing, fine-grained medium, hydroabrasive action, ejection nozzle, bubbling, spindle equipment.