



Цыгановский А. Б.

**Восточноукраинский  
национальный  
университет имени  
Владимира Даля**

УДК 621.924

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ**

*Розглянуті основні схеми гідроабразивної обробки затопленими струменями. Наведені деякі результати теоретичних та експериментальних досліджень по впливу основних факторів процесу на його ефективність.*

*The main schemas of hydroabrasive treatment by immersed jets are considered. Some results of theoretical and experimental researches on influence of process main factors on it's effectivity are given.*

«... повышение требований к качеству и товарному виду изделий привели к резкому росту объема очистных и отделочных операций в общей трудоемкости их изготовления».

*Шаинский М. Е.*

Гидроабразивная обработка получила широкое распространение в отечественной и зарубежной практике при выполнении следующих операций:

- уменьшение шероховатости поверхностей деталей;
- отделка деталей сложной конфигурации;
- снятие заусенцев и грата;
- упрочнение поверхностей металлов;
- очистка отливок от пригоревшей формовочной и стержневой смесей и остатков пригара;
- подготовка кромок для сварки и пайки;
- зачистка швов после сварки и пайки;
- удаление загрязнений с поверхности проката (окалины, ржавчины, масла и т.д.);
- подготовка поверхностей для улучшения сцепления нанесенных на поверхность детали различных покрытий (металлических, лакокрасочных, резины, эпоксидной смолы, клея и др.);
- создание микроуглублений на поверхности деталей для задержания смазки;
- получение матовой поверхности на деталях из металлов, пластмасс и стекла;
- получение рисунков и надписей на любых материалах с наложением шаблонов или трафаретов;

– восстановление режущих свойств инструмента (шлифовального круга, напильника и т.д.).

Сущность процесса гидроабразивной обработки заключается в том, что на обрабатываемую поверхность детали со значительной скоростью направляется водяная или водовоздушная струя, содержащая абразивные зерна, которые при соударении с поверхностью совершают работу резания, отделяя от обрабатываемой поверхности микростружку. Это придает поверхности своеобразный вид, характерный только для этого процесса.

Гидроабразивные установки по способу подачи суспензии к струйному аппарату и на обрабатываемую заготовку подразделяются на установки с эжекцией суспензии в струйный аппарат и последующим ускорением ее газом или водой; установки с нагнетанием суспензии газом, водой или насосом и последующим истечением ее через сопло; установки с нагнетанием суспензии газом, водой или насосом и последующим ускорением ее лопастями ротора, газом, водой или импульсным разрядом [1, 2, 3, 4].

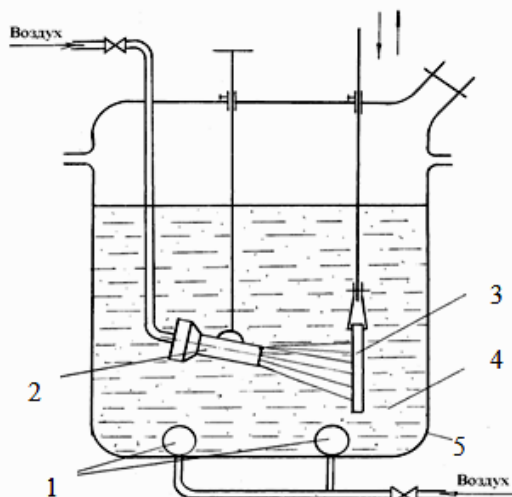
Одним из наиболее перспективных среди известных способов струйно-абразивной обработки является способ гидроабразивной обработки затопленными струями (ГОЗС) [5, 6].



ГОЗС благодаря простоте схемы обработки и многим другим преимуществам перед аналогичными способами струйно-абразивной обработки находит все более широкое применение во всех отраслях народного хозяйства.

Так, например, в области технологии машино- и приборостроения способ ГОЗС нашел широкое применение на следующих операциях: зачистка и отделка поверхностей деталей сложной конфигурации; подготовка поверхностей деталей под различные покрытия; очистка наружных и внутренних поверхностей отливок от остатков формовочных и стержневых смесей и пригара. В отрасли стекольного производства ГОЗС широко используется на декоративно – отделочных операциях.

Сущность способа заключается в следующем. В резервуар 5, заполненный гидроабразивной суспензией 4, помещают закрепленную заготовку 3. В этом же резервуаре, ниже уровня суспензии, находится определенным образом сориентированное относительно заготовки эжекционное сопло 2 (струйный аппарат). Обработка поверхности детали осуществляется направленной струей гидроабразивной суспензии, выбрасываемой из струйного аппарата.



**Рис. 1. Схема гидроабразивной обработки затопленными струями**

Разгон и формирование струи гидроабразивной суспензии происходит под воздействием струи сжатого воздуха, пропускаемой через струйный аппарат и засасывающей суспензию непосредственно из окружающей среды за счет эжекции.

Абразив в суспензии приводится во взвешенное состояние при помощи

барботажной системы 1, питаемой от того же источника сжатого воздуха, что и эжекционное сопло.

Очевидно, что ГОЗС имеет ряд существенных преимуществ перед известными способами струйно-абразивной обработки:

- гидроабразивная суспензия приготавливается в том же резервуаре, в котором производится обработка;

- при обработке затопленными струями не требуется применения специальных пульпонасосов и пульпопроводов для нагнетания и транспортирования суспензии к струйным аппаратам, что значительно повышает долговечность работы установок;

- схема способа предусматривает довольно простую барботажную систему.

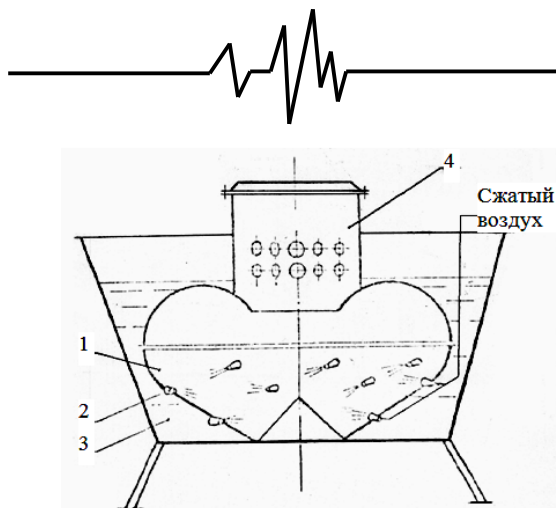
Одним из главных преимуществ способа ГОЗС является отсутствие запыленности воздуха в зоне рабочего, так как зона обработки расположена под слоем суспензии, что значительно улучшает санитарно-гигиенические условия труда. Способ отличается простотой и экономичностью технологического оборудования.

Одной из разновидностей ГОЗС является способ гидроабразивной струйно-центробежной обработки (ГСЦО) [7], позволяющий механизировать процессы зачистки и отделки мелких деталей точного машиностроения.

Суть способа ГСЦО заключается в том, что воздействие на поверхности обрабатываемых деталей, свободно помещаемых в гидроабразивную суспензию, находящуюся в закрытой емкости, осуществляется струями такой же суспензии, которая под давлением, направляется внутрь емкости. Детали и гидроабразивная суспензия под действием этих струй приобретают движение, направление которого определяется формой камеры и направлением действия струй.

Легко осуществимым является вращательное движение всей среды, преимущественно вокруг вертикальной оси камеры. Это предопределяет форму камеры и направление струй. При таком движении всей загрузки детали центробежными силами отбрасываются к периферии емкости, сталкиваются с ее стенками, теряя при этом скорость и получая дополнительное вращение относительно своих осей. Поток гидроабразивной суспензии обтекает различные поверхности деталей, производя, тем самым, работу микрорезания.

Принципиальная схема способа показана на рис. 2.



**Рис. 2. Принципиальная схема гидроабразивной струйно-центробежной обработки (ГСЦО)**

Обрабатываемые детали загружаются через горловину 4 в рабочую камеру 1, выполненную в виде двух чаш, соединенных большими основаниями, при этом нижняя чаша выполнена в виде усеченного конуса, а верхняя – в виде неполного тора.

Рабочая камера помещена в емкость 3, заполненную гидроабразивной суспензией. В камере 1 размещаются эжекционные струйные аппараты 2, у которых выходная часть находится внутри рабочей камеры 1, а засасывающая – вне ее. Струйные аппараты располагаются в камере тангенциально к ее внутренней поверхности. К форсункам струйных аппаратов подводится сжатый воздух.

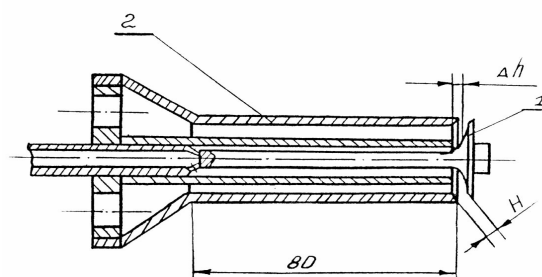
Циркуляция суспензии между камерой 1 и емкостью 3 осуществляется через отверстия на боковой поверхности горловины 4.

Способ ГСЦО является практически синтезом центробежно-ротационного и гидроабразивного способов обработки. При этом от центробежно-ротационного способа использовалась возможность одновременной обработки партий деталей в незакрепленном состоянии, а от гидроабразивного – возможность качественной обработки деталей сложной конфигурации.

Применение гидроабразивной обработки является эффективным также при решении задач очистки внутренних поверхностей деталей от остатков формовочной смеси и пригаров, окалины, ржавчины, закалочных солей, сажи, нагара, сварочных и паяльных флюсов, удаления заусенцев, матирования внутренних поверхностей изделий из стекла [2, 3].

Существуют различные способы и устройства для осуществления гидроабразивной обработки внутренних поверхностей [2, 3, 8, 9]. Одним из таких устройств является струйный аппарат (рис.1),

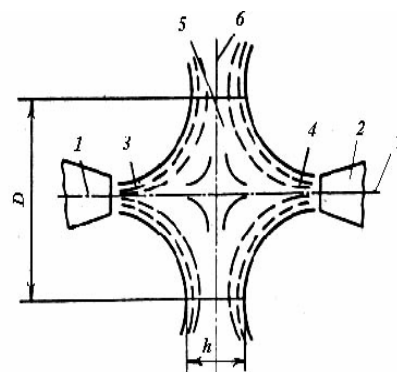
разработанный в лаборатории «Обработка свободными абразивами» ВНУ [10], который предназначен для формирования отклоненных струй в форме веерного факела при гидроабразивной обработке затопленными струями. Параметрами настройки аппарата являются величины воздушного ( $\Delta h$ ) и эжекционного ( $H$ ) зазоров. От этих величин зависят расход сжатого воздуха и гидроабразивной суспензии, а также параметры следа струи на обрабатываемой поверхности, т.е. производительность обработки.



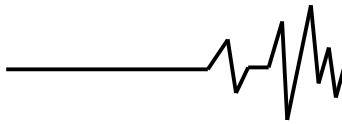
**Рис. 3. Струйный аппарат, формирующий отклоненные струи:  
1 – отклоняющая система;  
2 – эжекционная насадка**

Применение таких аппаратов оправдано в тех случаях, когда требуется сформировать узкий веерный факел струи для обработки небольшого участка поверхности.

Более перспективным по эффективности является способ струйно-абразивной обработки встречно направленными струями [11]. Способ основан на явлении расширения и изменения направления движения потока при столкновении струй жидкости, направленных навстречу друг другу (рис. 4).

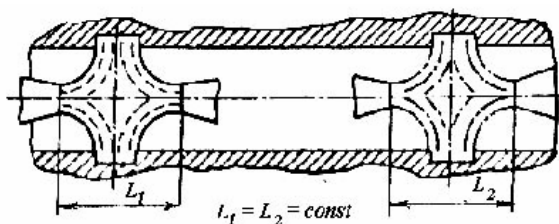


**Рис.4. Принципиальная схема явления, возникающего при столкновении двух теоретически равных струй абразивно-жидкостной суспензии, направленных навстречу друг другу**



Из струйных аппаратов 1 и 2 истекают навстречу друг другу две струи 3 и 4 при одинаковой скорости истечения, равном давлении и одинаковом расходе. При их встрече поток жидкости отклоняется на  $90^\circ$  в зоне встречи 5, образуя кольцообразное утолщение, симметрично расположенное относительно плоскости 6, которое, по мере удаления от оси 7, вначале сужается, а затем расширяется. При этом в области сужения наблюдается повышенная плотность потока с высокой его турбулентностью; в зоне расширения кинетическая энергия потока падает. Зона, ограниченная диаметром  $D$  и наименьшей толщиной  $h$ , характеризуется наибольшей кинетической энергией потока, так как скорость и плотность среды при этом наибольшие. Эта зона названа активной. Сближая и удаляя встречно направленные струйные аппараты вдоль горизонтальной оси, можно регулировать значения  $D$  и  $h$ , управляя тем самым величиной активной зоны.

Очистку нескольких кольцевых выточек можно осуществлять перемещением зоны встречи последовательно из одной выточки в другую при сохранении постоянного расстояния между струйными аппаратами (рис. 5).



**Рис. 5. Очистка нескольких кольцевых выточек, осуществляемая перемещением активной зоны из одной выточки в другую**

Эффективность процесса гидроабразивной обработки, как и других методов обработки свободными абразивами, можно оценить двумя параметрами: съемом материала с обрабатываемых поверхностей в единицу времени с единицы поверхности и достижением минимальной шероховатости поверхности за определенный промежуток времени. Чем больше величина съема металла, а также чем быстрее достигается минимальная шероховатость поверхности, тем выше производительность.

При гидроабразивной обработке на обрабатываемую поверхность воздействуют струей, представляющей собой суспензию, состоящую из жидкости и абразивных зерен. При этом вода используется в первую очередь

как энергоноситель, обеспечивающий доставку абразивных зерен к обрабатываемой поверхности и их разгон до скоростей, необходимых для совершения процесса резания.

С целью выявления основных факторов процесса гидроабразивной обработки рядом исследователей рассмотрен механизм процесса на примере работы единичного зерна. Большинство исследователей сходятся во мнении о том, что при воздействии абразивных частиц на обрабатываемую поверхность возможны три случая изнашивания: микрорезание, пластическое оттеснение и упругое оттеснение.

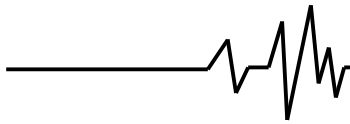
При этом интенсивность изнашивания определяется в первую очередь скоростью частицы в струе энергоносителя, массой самой частицы, количеством частиц в струе, а также углом атаки, т.е. углом, под которым струя энергоносителя сталкивается с изнашиваемой поверхностью.

В ходе изучения процессов, характерных для наиболее распространенных схем струйно-абразивной обработки, влияние большинства факторов на производительность обработки были довольно полно исследованы и отражены в ряде работ [1, 5, 6, 7, 8].

Однако процессы, происходящие при обработке гидроабразивной затопленной струей, имеют ряд существенных отличий от традиционных схем струйно-абразивной обработки. Для создания эффективных технологий и оборудования, реализующих способ ГОЗС, потребовалось проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований.

В работах [1, 2, 3] приводится множество экспериментальных данных о зависимости производительности обработки от различных технологических параметров, таких, как давление сжатого воздуха, подводимого к струйным аппаратам, конструкция и размеры струйных аппаратов, расстояние от струйного аппарата до обрабатываемой поверхности, материал и зернистость абразива, концентрация абразива в суспензии, угол атаки струи и т.д.

Необходимо отметить, что характер зависимости металлосъема от перечисленных факторов у различных авторов общий. Отличие заключается в том, что исследователи применяют в своих экспериментах различные конструкции установок и струйных аппаратов. С этим связана сложность сравнительной оценки эффективности того или иного способа гидроабразивной обработки, той или иной конструкции струйных аппаратов.



При разработке технологических процессов ГОЗС актуальным является вопрос определения прогнозируемого съема материала с поверхности обрабатываемого изделия. Теоретическое рассмотрение процесса взаимодействия затопленной струи, состоящей из трех фазовых компонент (воды, сжатого воздуха и абразива), с обрабатываемой поверхностью позволило получить зависимость для определения съема металла, которая количественно и качественно определяет влияние основных параметров обработки на съем металла [12, 13]:

$$G_{\Sigma} = \frac{kk_U \alpha Q \rho_1 \rho_2 U_c^3 L^2 \operatorname{tg}^2 \beta (1 - k_{\Gamma}) T}{2H_{M, \text{дин}}}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий вид износа;  $k_U = 0,121$  – безразмерный коэффициент;  $D$  – характерный размер абразивной частицы;  $U_c$  – скорость соударения частицы с поверхностью;  $\rho_1, \rho_2$  – плотности материалов частицы и детали;  $H_{M, \text{дин}}$  – динамическая твердость металла по Мейеру;  $Q$  – концентрация абразивных частиц в единице объема гидроабразивной суспензии;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий межзерновое пространство частиц абразива (т.е. их насыпную укладку);  $\beta$  – угол наклона внешних границ струи к ее оси;  $L$  – длина струи;  $k_{\Gamma}$  – коэффициент газосодержания струи;  $T$  – время обработки.

Анализ полученной зависимости показывает, что для ее практического использования необходимо проведение экспериментальных исследований по определению количественных значений

величин  $k, k_{\Gamma}, U_c, \beta$ . При этом значения величин  $k_{\Gamma}, U_c, \beta$  в значительной степени зависят от геометрических характеристик используемого при ГОЗС струйного аппарата, а коэффициент  $k$ , характеризующий вид износа, зависит только от обрабатываемого материала. По данным И.В. Крагельского, в зависимости от вида износа коэффициент  $k$  изменяется в таких пределах: при микрорезании  $10^{-1} - 2 \cdot 10^{-2}$ , при пластическом оттеснении  $10^{-3} - 10^{-4}$  и при упругом оттеснении  $10^{-6} - 10^{-7}$  [2].

В работах [14, 15] приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию геометрических параметров струйных аппаратов на эффективность ГОЗС. При проведении цикла исследований были определены значения  $k_{\Gamma}$  и  $\beta$  для наиболее рациональных конструкций струйных аппаратов.

В работе [16] приведены результаты экспериментальных исследований по определению скорости абразивных частиц в струе, формируемой выбранным на основании ранее проведенных исследований струйным аппаратом, а также определены численные значения коэффициентов  $k$  для материалов, наиболее часто подвергаемых на практике гидроабразивной обработке.

Измерения скоростей производились на давлениях сжатого воздуха 0,1... 0,5 МПа (с шагом 0,1 МПа) при истечении в различные среды: воздух, воду и суспензию с объемной концентрацией абразива в воде 1:10, 1:5, 1:3.

Результаты измерений представлены на рис. 6.

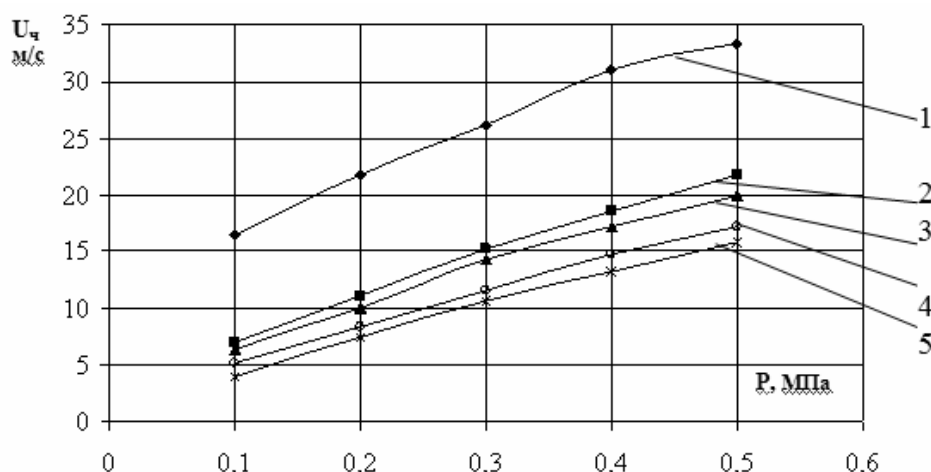
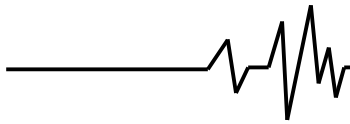


Рис. 6. Зависимость скорости абразивных частиц ( $U_c$ ) от давления сжатого воздуха ( $P$ ) при истечении струи в различные среды:

1 – на воздухе, 2 – в воде, 3, 4, 5 – в суспензиях с объемными концентрациями абразива в воде 1:10, 1:5, 1:3



**Таблица 1**  
**Результаты исследований по обрабатываемости различных материалов**

Наименование обрабатываемого материала	<i>k</i>
Свинец	0,00502
Олово	0,00533
Чугун СЧ 25	0,121457
Медь	0,030733
Гетинакс	0,038904
Латунь Л63	0,021353
Алюминий А7	0,044604
Текстолит	0,246512
Дуралюмин Д16	0,037651
Сталь 45	0,023715
Сталь 08 кп	0,012549
Сталь Х18Н9Т	0,010594

Анализ результатов показывает, что для большинства исследованных материалов характерен такой вид износа, как микрорезание (*k* в пределах  $10^{-1} - 2 \cdot 10^{-2}$ ), а для свинца и олова – пластическое оттеснение (*k* в пределах  $10^{-3} - 10^{-4}$ ).

На основании анализа большого комплекса теоретических и экспериментальных исследований особенностей формирования струи при ГОЗС и эффективности ее воздействия на обрабатываемую поверхность получены достаточно нетривиальные результаты [17].

Теоретически установлено и подтверждено экспериментально, что для достижения наибольшей эффективности ГОЗС геометрические параметры струйных

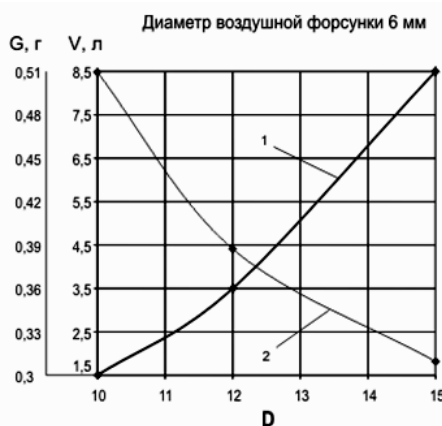
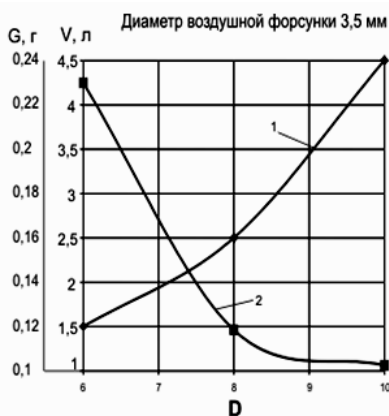
аппаратов должны обеспечивать максимальную при заданных условиях обработки напорность струи.

Экспериментально подтверждено превалирование влияния на эффективность ГОЗС величины напорности струи по сравнению с достижимым коэффициентом эжекции. При максимально достижимой напорности струи величина коэффициента эжекции должна лишь обеспечивать устойчивую (беззапорную) работу струйного аппарата.

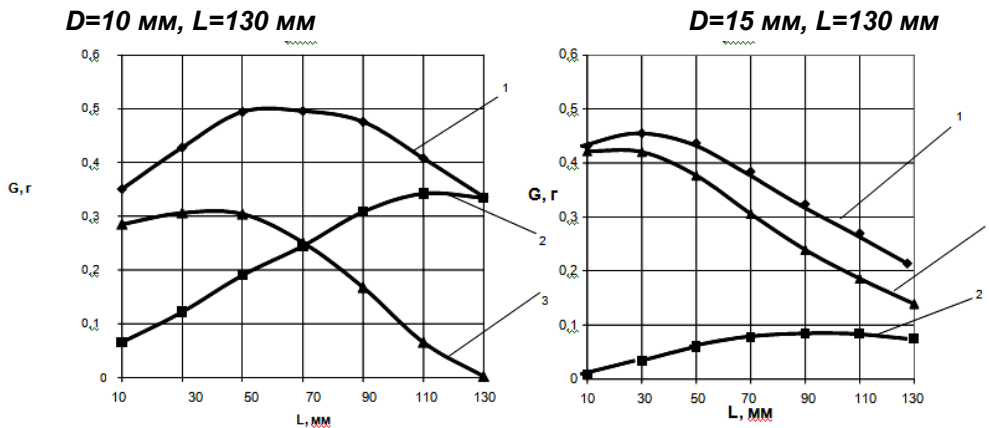
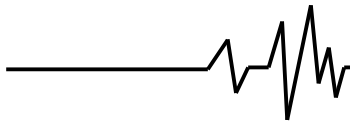
Установлено, что при диаметре воздушной форсунки, равном 3,5 мм, наиболее эффективным струйным аппаратом при реализации способа ГОЗС в диапазоне давлений сжатого воздуха 0,2...0,5 МПа является аппарат с диаметром эжекционной насадки, равным 6 мм. При диаметре воздушной форсунки, равном 6 мм, наиболее эффективным струйным аппаратом в диапазоне давлений сжатого воздуха 0,2...0,5 МПа является аппарат с диаметром эжекционной насадки, равным 10 мм (рис.4).

Установлено, что наибольшая эффективность ГОЗС соответствует длинам струй, характеризующим переходный участок затопленной турбулентной струи ( $L=30...150\text{мм}$ ).

Теоретически и экспериментально подтверждено значительное участие абразивных частиц спутного потока в общем процессе съема металла. При этом, при использовании струйного аппарата с диаметром форсунки 6 мм и диаметром эжекционной насадки 10 мм на наиболее эффективном участке струи доля участия абразива спутного потока достигает 40% (рис.7).



**Рис.7. Зависимость расхода суспензии (V) и съема металла (G) от диаметра эжекционной насадки (D): 1– расход суспензии, 2 – съем металла**



**Рис.8. Зависимость съема металла (G) от длины струи (L):**  
**1 – общий съем металла, 2 – съем металла спутным потоком, 3 – съем металла эжектируемым потоком**

Полученные результаты исследований использовались при проектировании оборудования и технологий как ГОЗС, так и ГСЦО (рис.2).

Особенностью эффективного протекания процесса ГСЦО является обеспечение наибольшей разности скоростей истекающих струй и движущихся в составе загрузки деталей. Очевидно, что максимальная разница этих скоростей зависит от ряда конструктивных параметров камеры, в которую насыпом помещены детали, и достигается при соответствии максимально достижимой массы загрузки, которая может быть вовлечена в движение, тому гидродинамическому воздействию на нее, которое обеспечивается энергией истекающих струй [19].

Теоретически установлено [18], что максимальная масса загрузки, которая может быть приведена в движение при ГСЦО, составляет:

$$M = \frac{\rho_{cm} U_c^2 S \sin \alpha \sin \beta \sum_{i=1}^k R_i n_i}{\left( \sin^2 \beta + \frac{0,18}{f_2} \cos^2 \beta \right) g f_2 R_{cp}}, \quad (2)$$

где  $\rho_{cm}$  – плотность газо-жидкостно-абразивной смеси (плотность струи);  $U_c$  – скорость струи;  $S$  – площадь сечения струи;  $\alpha$  – угол между продольной осью струйного аппарата и поверхностью, формируемой загрузкой в горизонтальной плоскости;  $\beta$  – угол наклона образующей конусной части рабочей камеры;  $n$  – количество струйных аппаратов;  $R_i$  – расстояние от вертикальной оси камеры до продольной оси струйных

аппаратов;  $R_{cp}$  – среднее расстояние от вертикальной оси камеры до продольной оси струйных аппаратов;  $f_1$  – коэффициент внутреннего трения деталей в загрузке;  $f_2$  – коэффициент сопротивления сдвигу загрузки относительно стенок камеры.

Если выделить в данном выражении часть параметров, которые являются неизменными для каждой конкретной установки, реализующей ГСЦО, получим, что:

$$M = K_y \frac{\rho_{cm} U_c}{f_2}, \quad (3)$$

где:

$$K_y = \frac{S \sin \alpha \sin \beta \sum_{i=1}^k R_i n_i}{R_{cp} g \left( \sin^2 \beta + \frac{0,18}{f_1} \cos^2 \beta \right)}, \quad (4)$$

Полученные в работах [18, 19] значения  $\rho_{cm}$ ,  $U_c$  и  $f_2$  могут быть использованы для аналитического определения максимальной массы загрузки при различных давлениях сжатого воздуха для деталей из стали, латуни и алюминия как простых форм (сфера, цилиндр и диск), так и для ряда деталей более сложных форм, для которых значения могут быть или интерполированы, или, при необходимости, измерены экспериментально [20].

Величина прогнозируемого съема металла при ГСЦО может быть рассчитана по формуле [18]:

$$G_3 = \frac{K\alpha\rho_1\rho_2\Pi m_\partial T n(1 - K_2)N_t}{2MH_{M,\partial ин}t} \left[ \int_0^t S_{\partial c} (v_c - v_\partial)^3 dt + \int_0^t S_{\partial n} (v_n - v_\partial)^3 dt \right], (5)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от вида износа;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий межзерновое пространство абразивного материала;  $\Pi$  – содержание абразивных частиц в суспензии (объемное);  $\rho_1$  – плотность материала частицы;  $\rho_2$  – плотность материала детали;  $m_\partial$  – масса единичной детали;  $T$  – время цикла обработки;  $S_{\partial c}, S_{\partial n}$  – суммарные площади, оmyаемые струей и потоком;  $v_c, v_n$  – величины скоростей струи и потока;  $K_2$  – коэффициент газосодержания струи;  $n$  – количество струйных аппаратов;  $t$  – время нахождения единичной детали в зоне обработки;  $M$  – масса загрузки;  $H_{M,\partial ин}$  – твердость металла (динамическая) по Мейеру.

Данное выражение используется при разработке технологических процессов зачистки заусенцев с учетом полученных в работе [19] коэффициентов избирательности, зависящих от способа формирования заусенцев, их величины и материала детали.

Проведенный автором большой комплекс исследований по применению ГОЗС к обработке внутренних поверхностей изделий показал достаточную его эффективность.

В особенности это касается операций очистки каналов литых тракторных гидрораспределителей от остатков формовочной смеси и пригаров, а также матирования внутренних поверхностей стеклянных плафонов осветительной техники с целью замены сложной, дорогой и экологически вредной технологии получения «молочного» стекла.

Результаты исследований по обработке внутренних поверхностей изделий достаточно подробно освещены в работах [10, 21, 22].

Практическими результатами проводимых на протяжении ряда лет исследований гидроабразивного метода обработки явились многочисленные внедрения в различных отраслях промышленности технологий и оборудования, разработанных в НИЛ «ОСА» ВУ им. В.Даля.

Примером широкого внедрения в странах СНГ является установка ГСЦУ-10, принципиальная схема которой и общий вид показаны на рис.9, 10.

Установка ГСЦУ-10 состоит из рабочей камеры 10, состоящей из двух чаш, нижняя из

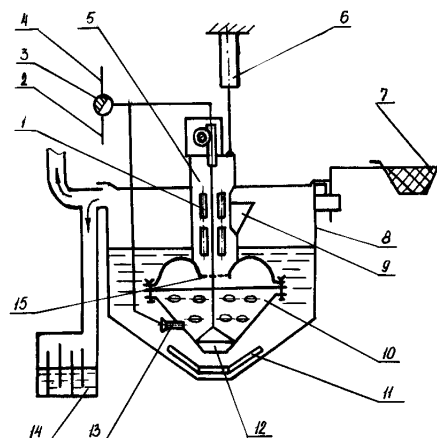


Рис.9. Схема установки ГСЦУ-10

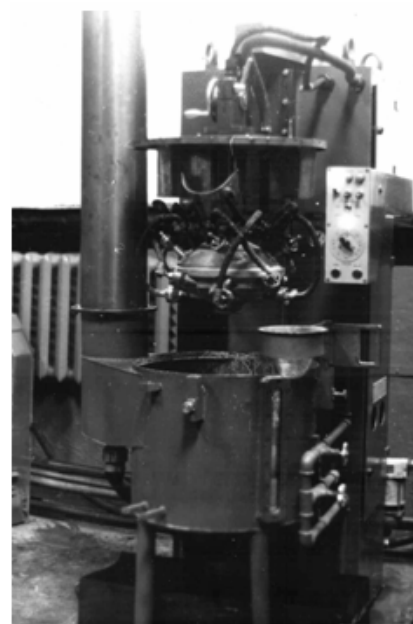


Рис.10. Общий вид установки ГСЦУ-10

которых выполнена в виде усеченного конуса, а верхняя – в форме неполного тора, бака 8 для подготовки гидроабразивной суспензии и отстойника 14. На дне бака 8 размещена барботажная система 11, служащая для взвешивания абразивного порошка в воде с помощью сжатого воздуха.

По боковой поверхности рабочей камеры 10 тангенциально к ее внутренней поверхности и с наклоном вниз по отношению к горизонтальной плоскости на угол  $7^\circ$  размещены эжекторные струйные аппараты 13. Количество струйных аппаратов – 12.



Форсунки струйных аппаратов 13 соединены с магистралью сжатого воздуха 2 и водопроводом 4 посредством распределителя 3.

В нижней части камеры 10 имеется разгрузочное отверстие, перекрываемое конусной пробкой 12. В верхней части камеры 10 смонтирована горловина 5, в которой имеются загрузочное окно 9 и отверстия 1 для слива избытка нагнетаемой суспензии из камеры 10 в бак 8.

Загрузочное отверстие в верхней чаше рабочей камеры 10 во время обработки перекрывается предохранительной сеткой 15 с целью предотвращения попадания деталей в загрузочную горловину 5.

Опускание в бак 8 и подъем рабочей камеры 10 в начале и в конце цикла обработки осуществляется пневмоцилиндром 6.

Перфорированный стакан 7 установлен с возможностью его подвода под разгрузочное отверстие камеры 10 по окончании обработки.

В процессе обработки к форсункам струйных аппаратов 13 подается сжатый воздух, а по окончании обработки – вода. В сочетании с наклоном осей струйных аппаратов вниз это позволяет эффективно производить выгрузку деталей в перфорированный стакан 7 и промывать их.

Возможность подвода к струйным аппаратам воды позволяет также поддерживать постоянный уровень суспензии в баке 8 и удалять в отстойник отходы обработки.



**Рис.11. Примеры деталей, обрабатываемых на установке ГСЦУ-10**

Установка **ГСЦУ-10** предназначена для удаления заусенцев, скругления острых кромок, матирования и подготовки поверхностей под гальванические и лакокрасочные покрытия на мелких и небольших деталях из любых металлов и сплавов массой до 30 г с наибольшим габаритным размером 20 мм. Одновременно

обрабатывается от 20 до 10000 деталей в зависимости от их габаритов. Установка позволяет производить операцию зачистки сложнопрофильных поверхностей деталей, к которым предъявляются требования по точности, таких, например, как зубья мелко модульных шестерен, детали фотоаппаратуры, часовых механизмов (внедрены на Белорусском оптико-механическом объединении (Минск, Вилейка), Ливенском заводе жидкостных счетчиков (г. Ливны), Челябинском часовом заводе).

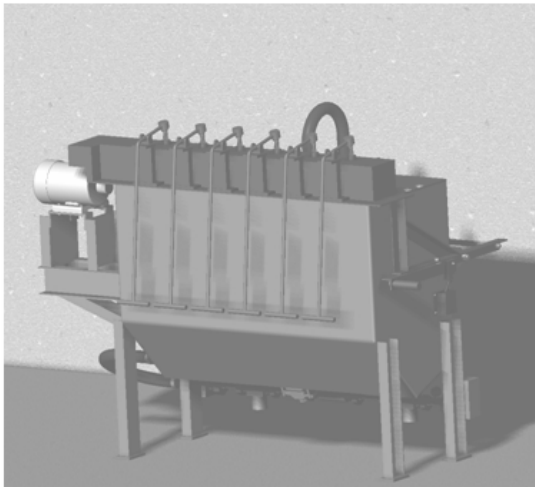
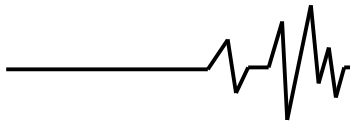
Установка **УГМС-400** позволяет производить декоративную обработку наружных поверхностей стеклянных изделий типа тел вращения (внедрена на Попаснянском стекольном заводе).

Установка **ГАУ-800**. Позволяет производить очистку металлических и декоративную обработку стеклянных поверхностей как снаружи, так и внутри полых изделий.

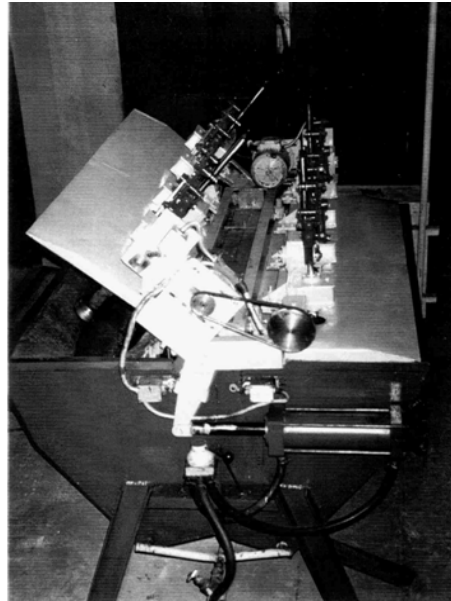
Обрабатываемые детали и струйные аппараты помещаются ниже уровня суспензии, абразивная составляющая которой взвешивается в воде при помощи пневматической барботажной системы. К форсункам струйных аппаратов подводится сжатый воздух от цеховой магистрали (давление 0,3...0,5 МПа). Детали в процессе обработки вращаются и совершают возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении с определенной частотой с целью обеспечения равномерности обработки. По окончании цикла обработки шпиндели с закрепленными в них деталями поднимаются из рабочей зоны, и производится снятие обработанных и закрепление новых заготовок.

Цикл одновременной обработки четырех заготовок в зависимости от их материала и цели обработки составляет от 2-х до 5-ти минут (приблизительно 1 минута на штуку). Конструкция оборудования обеспечивает наладочный и полуавтоматический режимы обработки (внедрены на Попаснянском и Гостомельском стекольных заводах, Харцызском трубном заводе).

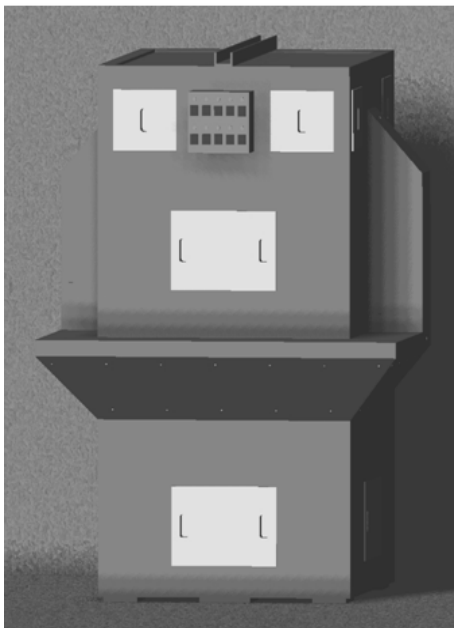
Установка **ГАУ-600**. Предназначена для обработки внутренних каналов литых корпусных деталей топливной и гидравлической аппаратуры от пригаров и остатков формовочных смесей. Цикл обработки предусматривает непосредственно очистку внутренних полостей и каналов встречными гидроабразивными струями, а также промывку обработанных поверхностей после обработки (внедрена на Мелитопольском заводе тракторных гидроагрегатов).



**Рис. 12.** *Общий вид установки УГМС-400*



**Рис. 13.** *Общий вид установки ГАУ-800*



**Рис. 14.** *Общий вид установки ГАУ-600*



**Рис. 15.** *Полости разрезанного корпуса гидрораспределителя после обработки на установке ГАУ-600*

### **Литература**

1. Билик Ш. М. Абразивно-жидкостная обработка металлов / Ш. М. Билик. – М.: Машиностроение, 1960. – 198 с.
2. Проволоцкий А. Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А. Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989 – 177с.
3. J. Kaczmarek, J. Sikora, Cz. Czyzewicz *Obrobka strymieniowo-scierna*,

Warszawa, Wydawnictwa naukowo-techniczne, 1963. – 156.

4. Пичко А. С. Струйно-абразивная обработка внутренней поверхности труб. – Технология, организация и механизация кузнечно-прессового и заготовительного производства № 4, – М.:НИИинформтяжмаш, 1970.

5. Довнар С. А. Новые методы струйно-абразивной обработки металлов / С. А.



Довнар // Докл. АН БССР. – 1961. – Т. 5. – № 4. – С. 173 – 176.

6. А. с. 207768 СССР, МКИ В 24 В. Способ гидроабразивной обработки / В. К. Агафонов (СССР). – № 1064466/25-8; Заявл. 28.03.1966 Оpubл. 22.12.1967, Бюл. № 1.

7. А. с. 1217635 СССР, МКИ В 24 В 31/02. Установка для центробежной обработки изделий / А. Б. Цыгановский, Ю. Н. Букаранов, М. Е. Шаинский, В. Н. Краснихин, И. М. Бурдыко, Ю. М. Синайский; Ворошиловградский машиностроительный институт (СССР). – № 3730882/25-08; Заявл. 24.02.84; Оpubл. 15.03.86. Бюл. № 10.

8. А. с. 1087319 МКИ В 24 С 5/04. Сопло для абразивной обработки внутренней поверхности деталей / М. В. Трубников. – № 3502193/25-08; Заявл. 22.10.82; Оpubл. 23.04.84, Бюл. № 15.

9. А. с. 1063585 МКИ В24 С 7/00 Устройство для абразивной обработки деталей / И. А. Митрофанов, А. Б. Цыгановский, М. Е. Шаинский, В. А. Власов, О. Г. Игнатенко; Ворошиловградский машиностроительный институт (СССР). – № 3364991/25-08; Заявл. 17.12.81; Оpubл. 30.12.83, Бюл. № 48.

10. Цыгановский А. Б. Гидроабразивная обработка внутренних поверхностей / А. Б. Цыгановский // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2001. С. 63 – 68.

11. А. с. 884991 СССР, МКИ В 24 С 1/00. Способ абразивоструйной обработки поверхностей деталей / А. Б. Цыгановский, М. Е. Шаинский, В. А. Власов, В. Г. Назаренко, Э. И. Егер; Ворошиловградский машиностроительный институт (СССР). – № 2900124/25-08; Заявл. 26.03.80; Оpubл. 30.11.81, Бюл. № 44.

12. Цыгановский А. Б. Производительность гидроабразивной обработки затопленными струями / А. Б. Цыгановский // Збірник наукових праць Східноукраїнського державного університету. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми електронної промисловості у перехідний період”. Луганськ, СУДУ, 1998. С. 48 – 51.

13. Цыгановский А. Б. Эффективность гидроабразивной обработки затопленными струями / А. Б. Цыгановский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2002. – №7 (53). – С. 261 – 264.

14. Цыгановский А. Б. Исследования по гидроабразивной очистке деталей нефтяного насоса / А. Б. Цыгановский //

Вибрации в технике и технологиях. – 2000. – №3 (15). – С. 47 – 50.

15. Цыгановский А. Б. О влиянии геометрических характеристик струйных аппаратов на производительность гидроабразивной обработки затопленными струями / А. Б. Цыгановский // Вопросы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону, ДГТУ. – 2003. – С. 109 – 112.

16. Цыгановский А. Б. Экспериментальное определение скорости абразивных частиц в затопленной гидроабразивной струе / А. Б. Цыгановский // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 92 – 97.

17. Цыгановский А. Б. Определение степени влияния коэффициента эжекции и скоростного напора струи на эффективность гидроабразивной обработки затопленными струями / А. Б. Цыгановский // Вісник СНУ ім. Даля – 2005 № 7 (89). – С. 234 – 239.

18. Цыгановский А. Б. Теоретическое обоснование основных факторов, влияющих на эффективность процесса гидроабразивной струйно-центробежной обработки / Ворошиловградский машиностр. ин-т. – Ворошиловград, 1989. – 29. ил. – Деп. в УкрНИИТИ 28.04.89, № 1198-Ук 89.

19. Цыгановский А. Б. Разработка и внедрение технологии гидроабразивной струйно-центробежной обработки мелких деталей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Утв. 18.07.90. – Москва, 1990 – 270 с.: ил.

20. Результаты исследований по обрабатываемости различных металлов на установке ГСЦУ-10 // Вибрации в технике и технологиях. – 1998. – № 2 (6). – С. 80 – 84.

21. Цыгановский А. Б. К вопросу очистки внутренних каналов корпусов гидрораспределителей / А. Б. Цыгановский, М. Е. Шаинский // Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции «Проблемы конструирования и технологии производства сельскохозяйственных машин» – Кировоград, 1981.

22. Цыгановский А. Б. Гидроабразивная обработка внутренних поверхностей / А. Б. Цыгановский // Вибрации в технике и технологиях. – 2002. – № 2 (23). – С. 54 – 56.