

ГЛУШИТЕЛЬ ШУМА СВЕРХЗВУКОВОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОАБРАЗИВНОЙ СТРУИ

Приведено описание технологии обработки поверхностей с использованием сверхзвуковой высокотемпературной газоабразивной струи. Показана необходимость применения устройств снижения уровня шума, генерируемого струей. Содержится информация о сопловых устройствах для образования сверхзвуковых газоабразивных струй и разработке глушителей их шума. Даны сведения об экспериментальных образцах глушителей шума сверхзвуковых высокотемпературных газоабразивных струй и их натурных испытаниях. Описаны конструкция, принцип работы и экспериментальные исследования разработанного авторами глушителя шума сверхзвуковой высокотемпературной газоабразивной струи.

Приведено опис технології обробки поверхонь з використанням надзвукового високотемпературного газоабразивного струменя. Показано необхідність використання пристроїв зниження рівня шуму, що генерується струменем. Вміщено інформацію про соплові пристрої для утворення надзвукових газоабразивних струменів та розробку глушників їх шуму. Дано відомості про експериментальні зразки глушників шуму надзвукових високотемпературних газоабразивних струменів та їх натурні випробування. Описано конструкцію, принцип роботи та експериментальні дослідження розробленого авторами глушника шуму надзвукового високотемпературного газоабразивного струменя.

The surface treatment technology with application of a supersonic high-temperature gas-abrasive jet is presented. The necessity to use silencers for reducing the jet-generated noise is valid. Data about the nozzle devices for creation of supersonic gas-abrasive jets and the silencer development are considered. Information on prototypes of silencers for supersonic high-temperature gas-abrasive jets and full-scale tests is also provided. The design, operation principles, and experimental studies of the silencer developed by the authors for a supersonic high-temperature gas-abrasive jet are described.

Среди технологических процессов обработки поверхностей и деталей машин широкое распространение получила технология с использованием эффекта ударно-импульсного воздействия газоабразивного потока на обрабатываемую поверхность.

При ее применении сокращается трудоемкость и повышается производительность процесса очистки, улучшаются эксплуатационные показатели поверхностей, их степень готовности для нанесения покрытий [1].

Среди устройств для обработки струей сухого абразива выделяются установки, реализующие газотермоабразивный метод. Он основывается на принципе одновременного термического и ударно-абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность двухкомпонентной сверхзвуковой высокотемпературной струи, состоящей из газового потока продуктов сгорания топлива и частиц абразивного материала. Сопловым устройством (горелкой) генерируется сверхзвуковая высокотемпературная струя, в которую подаются частицы абразива, они ускоряются до сверхзвуковой скорости и вместе с продуктами сгорания воздействуют на обрабатываемую поверхность.

Реализация метода газотермоабразивной обработки сопровождается генерированием сверхзвуковой высокотемпературной газоабразивной струей звуковых колебаний (шума) высокого уровня. Так, в рабочей зоне установки уровень звуковых колебаний составляет около 120 – 130 дБ.

Безопасные уровни звуковых колебаний, допускаемые санитарными нормами, составляют около 85 дБ. Поэтому при использовании установок, реализующих этот метод, применяются индивидуальные средства защиты (скафандры, вентилируемые шлемы, звукоизолирующие устройства для ушей и т. п.), что создает неудобства в работе и не обеспечивает защиту от вредного влияния шума высокого уровня на окружающую среду.

В связи с этим актуальным является вопрос создания средств эффективного снижения уровня шума сверхзвуковой высокотемпературной газообразивной струи (глушителей).

Конструктивные схемы разработанных ранее сопловых насадков для реализации газотермообразивного метода очистки (нанесения покрытий) приведены в ряде источников [2 – 21]. В общем виде их устройство таково: в наружном корпусе соплового насадка установлена камера сгорания, по центральному трубопроводу подается смесь воздуха и абразива, в полость между корпусом и камерой сгорания подаются горючее и воздух, которые поступают в камеру сгорания, образуя воздушно-топливную смесь, сгорающую в камере сгорания. Газообразные высокотемпературные продукты сгорания ускоряются в сверхзвуковом сопле, образуя на выходе сверхзвуковую высокотемпературную газообразивную струю [2].

В [4, 5] описан расходный способ управления сверхзвуковым высокотемпературным газообразивным потоком. Его отличительной чертой является функциональное разделение газодинамического тракта на участок нагрева частиц в потоке продуктов сгорания, имеющих высокую температуру и невысокую скорость, и участок разгона двухфазного потока до сверхзвуковых скоростей.

Основные положения о генерировании шума сверхзвуковыми струями обобщены в [22].

При разработке глушителей шума сверхзвуковой высокотемпературной газообразивной струи необходимо учитывать требования [23, 24] и положения, изложенные в [22, 23 – 34].

Глушители шума высокотемпературной сверхзвуковой струи, в зависимости от их конструкции, могут быть активными, реактивными и комбинированными.

Активные глушители эффективны на высоких частотах. Они достаточно просты по устройству и выполняются в виде каналов прямоугольного или круглого сечения, облицованных звукопоглощающим материалом, покрытым перфорированным листом, металлической сеткой, перфорированной фольгой. Снижение шума активным глушителем для круглого канала рассчитывают по формуле:

$$\Delta L = 4,4 \frac{\varphi(\alpha)l}{d} \text{ дБ}, \quad (1)$$

где $\varphi(\alpha)$ – условный коэффициент звукопоглощения облицовки глушителя, зависящий от коэффициента звукопоглощения используемого адсорбента; l, d – соответственно длина и диаметр поперечного сечения канала глушителя.

Например, при $\varphi(\alpha) = 0,5$, длине глушителя 21 см и внутреннем диаметре 35 мм $\Delta L = 13,2$ дБ.

Глушители реактивного типа применяются для ослабления шума, имеющего в своем составе дискретные составляющие.

В случае простого расширительного глушителя, представляющего собой одиночную расширительную камеру, эффективность глушителя можно определить из формулы:

$$\Delta L_k = 10 \lg[1 + 1/4(m - 1/m)^2] \sin^2 kl_k, \quad (2)$$

где $m = \frac{F_2}{F_1}$ – отношение площади расширительной камеры к площади начального участка; l_k – длина расширительной камеры, м; $k = 2\pi f / c$ – волновое число, м⁻¹.

Оптимальным считается глушитель, который максимально уменьшает шум, незначительно увеличивает массу и габариты и снижает мощность горелки не более чем на 10%.

Для обеспечения разработки глушителей шума сверхзвуковой высокотемпературной газообразивной струи с оптимальными параметрами необходимо учитывать расчетные соотношения для определения геометрических и газодинамических характеристик ее факела [35 – 41].

Поскольку глушитель шума сверхзвуковой высокотемпературной газообразивной струи представляет собой цилиндрический канал, для определения его характеристик следует учитывать особенности течения сверхзвуковых струй в каналах [42], учет двухфазности течения в сверхзвуковой струе необходимо проводить, руководствуясь положениями, приведенными в [43 – 51]. В частности, следует иметь в виду, что частицы в расширяющейся части сопла и на его выходе образуют в потоке тонкие слои, которые могут не пересекаться.

Концентрация твердых частиц в этих слоях значительно выше, чем в основном потоке. В результате распределение концентрации примеси поперек потока становится существенно неравномерным, причем протяженность этой области вдоль потока может быть равна нескольким диаметрам выходного сечения сопла.

Экспериментальные исследования шума газообразивных струй описаны в [52]. В этой работе исследовано воздушно-абразивное сопло и глушители различных конструктивных схем шума воздушно-абразивной струи, истекающей из этого сопла. В частности, испытано сопло с соосным кольцевым потоком, с помощью которого предполагалось исключить или ослабить источники звука, связанные со скачками уплотнения, усилить процесс турбулентного перемешивания и уменьшить длину области потенциального ядра струи. Предполагалось уменьшить шум воздушно-абразивной струи на ~ 10 дБ.

Разработана и испытана также конструкция глушителя в виде цилиндрической насадки, внутренний диаметр которой в выходном сечении сопла ступенчато увеличивается (рис. 8 [52]).

Испытывался также глушитель, в конструкции которого предусмотрен расширительный объем на выходе из сопла (рис. 11 [52]), в котором шум будет снижаться вследствие расширения потока, выходящего из сопла, на дополнительном участке длины втулки большего диаметра. Расширенная втулка дает потоку возможность постепенно затормозиться перед истечением его в окружающую среду.

В глушителе с расширительным объемом происходит внезапное расширение площади поперечного сечения насадка. Увеличенный объем создает на некоторых частотах несовпадение акустического импеданса на поверхностях, разделяющих течение в сопле и течение в расширительном объеме. Изменение импеданса вызывает частичное отражение падающей звуковой волны в обратном направлении и ее взаимодействие с другими падающими волнами, что приводит к снижению шума.

Установки, в которых реализуется газотермоабразивная технология, получили достаточно широкое распространение в Украине. Так, предприятие «ПромАнтикорЗащита» (г. Запорожье) разработало и выпускает термоабразивные установки ТАУ-100 и ТАУ-200 [53], предназначенные для высококачественной очистки металлических и неметаллических поверхностей от различных видов загрязнений и коррозии: раковин, окалины, красок, грунтовок, битума, смол, герметиков, резины и др., подготовки поверхностей конструкций под нанесение защитных покрытий, обработки поверхности старого бетона перед восстановительными операциями.

В основу газотермоабразивного метода, используемого в этих установках, заложен принцип одновременного термического и ударно-абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность двухкомпонентной сверхзвуковой высокотемпературной струей, состоящей из газового потока продуктов сгорания и частиц абразивного материала. Абразивные частицы подаются в поток сверхзвуковой газовой струи, генерируемой аппаратом, ускоряются до сверхзвуковой скорости и вместе с продуктами сгорания воздействуют на обрабатываемую поверхность.

Внешний вид термоабразивной установки ТАУ-200 приведен на рис. 1, термоабразивной горелки – на рис. 2, газотермоабразивной струи – на рис. 3 [53], а работа установки при очистке многослойного покрытия – на рис. 4.

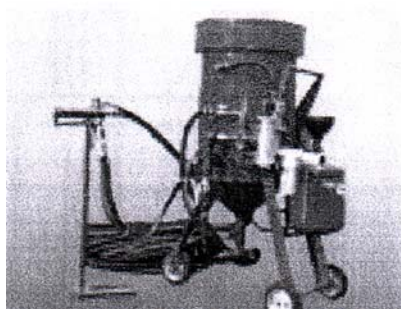


Рис. 1



Рис. 2

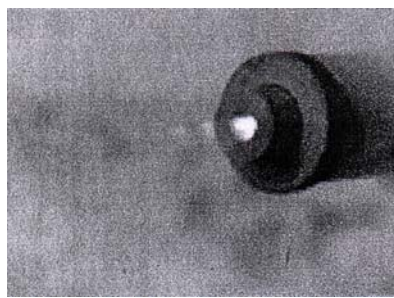


Рис. 3



Рис. 4

Для обеспечения работы установки используются:

– сжатый воздух от стационарной воздушной магистрали или передвижного компрессора, при давлении $P = 0,6$ МПа и расходе $300 \text{ м}^3/\text{час}$;

- керосин или дизельное топливо;
- абразивный материал; в качестве абразивного материала могут использоваться сухой просеянный песок, дробь, корунд и т.п.

При использовании этих установок происходит одновременная очистка, обезжиривание, обеспыливание, создание требуемой шероховатости, нагрев и активирование очищаемой поверхности.

По сравнению с традиционным пескоструйным способом термоабразивный метод имеет следующие преимущества.

Производительность в 2 – 3 раза выше.

Стоимость очистки ~ в 4 раза ниже ($\approx 0,7 \text{ \$/м}^2$).

Возможность выполнять очистку сложных (тяжелых) загрязнений и покрытий.

Комплексное воздействие на обрабатываемую поверхность – подогрев, обезжиривание и активирование.

Обеспечивается качество очистки до степени 1 по ГОСТ 9.402-80 и необходимая равномерная шероховатость поверхности.

Предприятие «Харьковский Центр порошкового напыления «Газодинамика» (г. Харьков) выпускает оборудование для термоабразивной очистки, предназначенное для удаления органических и неорганических наслоений любой плотности и прочности, в том числе на основе полиэтилена, битума, эпоксидных смол толщиной до 10 мм с поверхностями металлоконструкций, железобетона и пр. Применяется при ремонте судов, военной техники, восстановлении фасадов зданий, гранитных памятников, набережных сооружений и др. Внешний вид газотермоабразивной горелки производства предприятия «Газодинамика» представлен на рис. 5, а работа - на рис. 6 [54].



Рис. 5



Рис. 6

После очистки с помощью этой установки поверхность не требует дополнительной обработки и готова к нанесению защитных покрытий. Металлические поверхности при этом активируются за счет снятия атомарного слоя с поверхности, что существенно улучшает адгезионные свойства наносимого защитного покрытия.

Базовая комплектация термоабразивной установки – абразивный бак емкостью 180 литров с блоком подготовки воздуха и эжектором, термогазоструйный инструмент, струйное износостойкое сопло с соплодержателем для «холодного» режима, система топливопитания, комплект рукавов для подачи абразива и транспортировки воздуха, индивидуальные средства защиты.

Установки подобного класса выпускает также Государственный инженерный центр «Львівантикор» физико-механического института им. Г. В. Карпенко Национальной академии наук Украины [55].

Для выбора основных конструктивных характеристик глушителей звука сверхзвуковой высокотемпературной газотермоабразивной струи необходимо иметь основные параметры (в том числе геометрические) ее факела.

Геометрические параметры газотермоабразивной струи, истекающей из соплового аппарата (горелки) установки ТАУ-100, были получены путем визуализации с использованием индикаторных пластин, помещаемых на короткое время (2 – 3 сек) в газотермоабразивную струю.

Индикаторные пластины представляли собой стальные листы размером 210×300 мм и толщиной $S = 1,0$ мм, покрытые с двух сторон светлой эмалевой краской. Они размещались по продольной оси горелки (струи) до контакта с выходным сечением сопла. Фиксация полученных картин факела выполнялась липкой лентой, которая при наклеивании несколько искажала картину следа течения из сопла.

Проведены 10 таких испытаний, обработка отпечатков и с учетом [35, 37, 41] получена картина факела газотермоабразивной горелки, представленная на рис. 7.

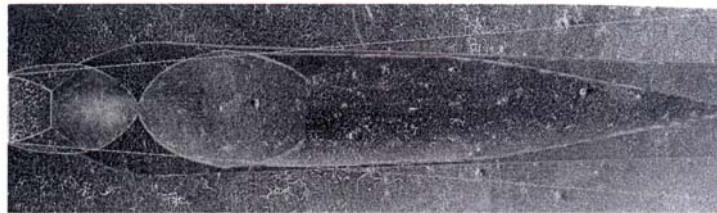


Рис. 7

Прямыми линиями показана граница разлета абразива.

Характеристики факела могут служить исходными данными при проектировании глушителей шума газотермоабразивной струи, истекающей из сопла горелок установок типа ТАУ-100 и ТАУ-200.

Основные характеристики и внешний вид горелки к газотермоабразивным установкам ТАУ-100 и ТАУ-200 приведены на рис. 2, 3. Чертеж выходной части горелки с конически-цилиндрическим соплом приведен на рис. 8, а внешний вид сопла – на рис. 9.

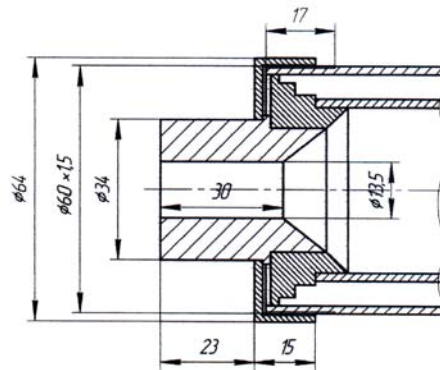


Рис. 8

Сопло с внутренним диаметром $d = 13,5$ мм выполнено из углеродистой стали, длина цилиндрической части сопла $l \approx 2,22 d = 30$ мм; а угол полураствора – 45° , переходящий в 50° на длине входной части ≈ 5 мм. Наружный диаметр сопла 34 мм; оно поджато к корпусу горелки накидной гайкой.

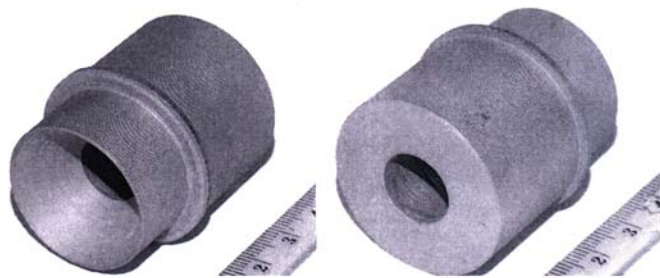


Рис. 9

Исходя из соображений низкой стоимости изготовления, сопло выполнено не из износостойкого материала и работает до полного износа, затем – заменяется.

Простейший реактивный глушитель к этим соплам – расширительная камера, представлял собой цилиндр, имеющий внутренний диаметр 50 мм, наружный – 52 мм и состоящий из секций длиной 60 мм каждая (рис. 10).



Рис. 10

Отношение внутреннего диаметра глушителя к диаметру сопла составило $\approx 3,7$. Испытания проводились на установке ТАУ-100, причем длина глушителя наращивалась путем сварки нескольких элементов равной длины ($l = 60,0$ мм).

Длина глушителя изменялась таким образом: $l = 60$ мм; $l = 120$ мм; $l = 180$ мм (число калибров $n = 1, 2; 2, 4; 3, 6$).

Испытания показали, что эффективность глушения шума газотермоабразивной струи глушителем описанной конструкции изменяется с увеличением его длины незначительно.

Испытывался также глушитель, внешний вид которого представлен на рис. 11.

Внутренний диаметр глушителя составлял $D_{вн} = 44,0$ мм, длина – 68 мм, на расстоянии ≈ 8 мм от торцевой части глушителя выполнены 11 радиальных отверстий диаметром 4,0 мм. Предполагалось, что через эти отверстия будет поступать (подсасываться) наружный воздух, что должно создать спутный кольцевой поток по периметру струи, который снизит эффективность турбулентности, что, в свою очередь, приведет к уменьшению излучения шума от струи.

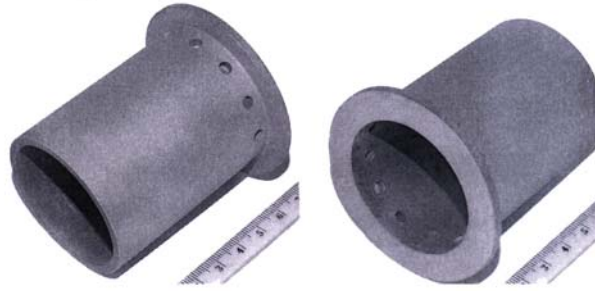


Рис. 11

Проведенные испытания показали, что эффективность глушения шума газотермоабразивной струи глушителем описанной конструкции практически такая же, как у глушителя простой трубчатой конструкции.

В дальнейшем эта конструкция была усложнена – внутрь был введен конструктивный элемент, представляющий собой завихритель подсосываемого наружного воздуха. Внешний вид глушителя приведен на рис. 12, а внутреннего конструктивного элемента – на рис. 13.

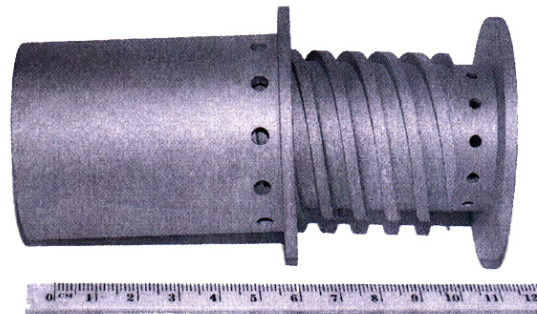


Рис. 12

На его наружной цилиндрической части выполнена винтовая канавка глубиной 3 мм и шириной 5 мм, шаг геликоидальной поверхности составлял около 8 мм; на расстоянии ≈ 8 мм от торцевой поверхности выполнено 12 радиальных отверстий диаметром 3,0 мм.



Рис. 13

Предполагалось, что такие конструктивные изменения позволят повысить эффективность шумоглушения. Однако, изменения оказались незначительными.

Таким образом, эксперимент показал низкую эффективность глушителей испытанных конструкций.

С учетом полученной информации авторами был разработан глушитель шума сверхзвуковой высокотемпературной газоабразивной струи.

Спроектированный глушитель относится к устройствам формирования газообразных (газотермообразных) струй и одновременного уменьшения уровня звуковых колебаний, генерируемых струей.

Его конструкция и схема работы приведены на рис.14 и рис. 15 [56], а внешний вид – на рис. 16 и рис. 17.

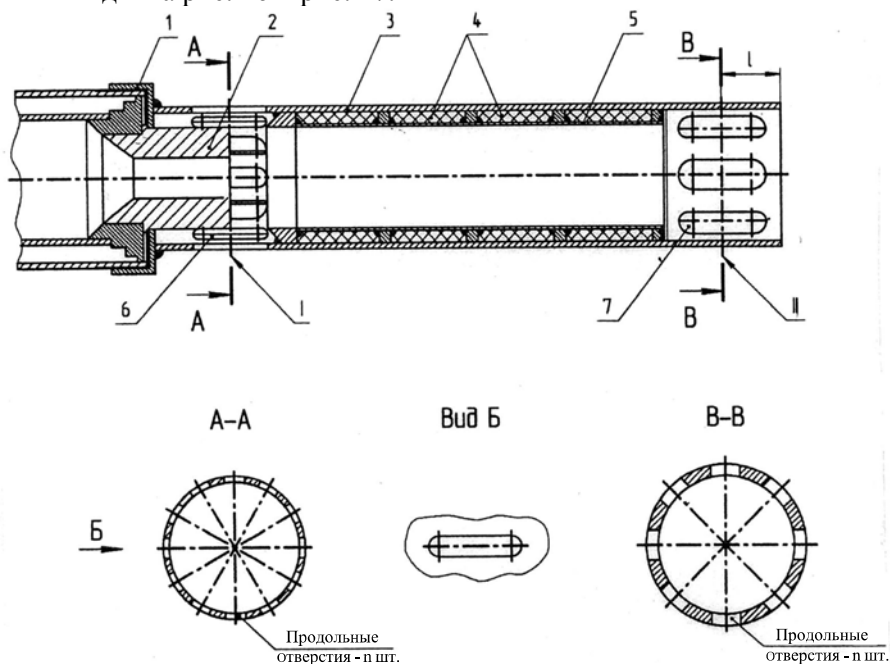


Рис. 14

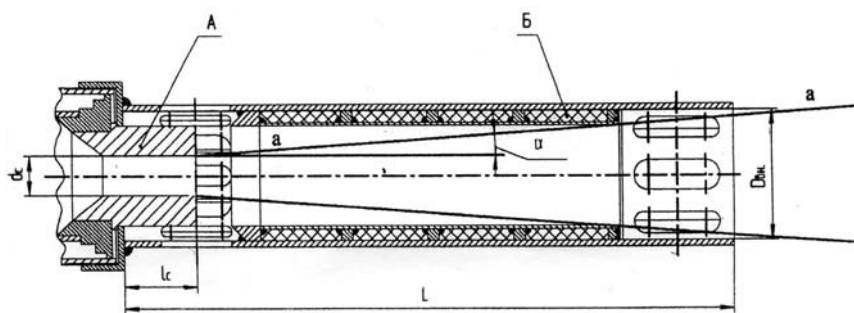


Рис. 15

При создании глушителя использовался ряд основных положений об особенностях генерирования звука сверхзвуковыми струями, изложенных в [22, 26, 41, 42, 31, 52, 57 – 59].

Глушитель состоит (рис. 14) из узла крепления 1 к сверхзвуковому соплу 2, внешней 3 и внутренней 5 цилиндрических оболочек, в полости между которыми размещен звукопоглощающий материал 4 (например рулон мелкоячеистой сетки из нержавеющей проволоки).

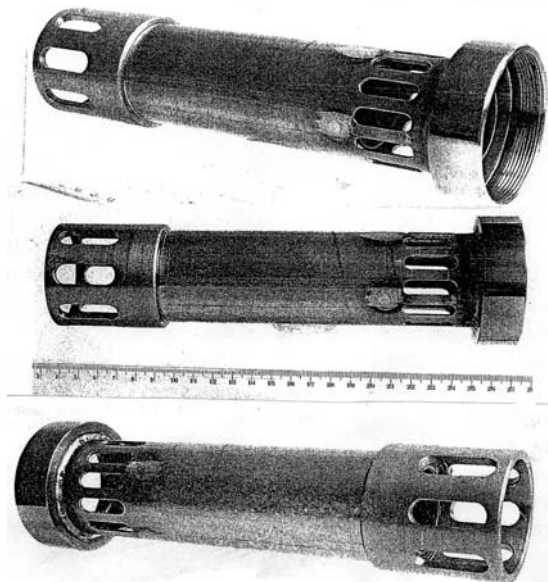


Рис. 16

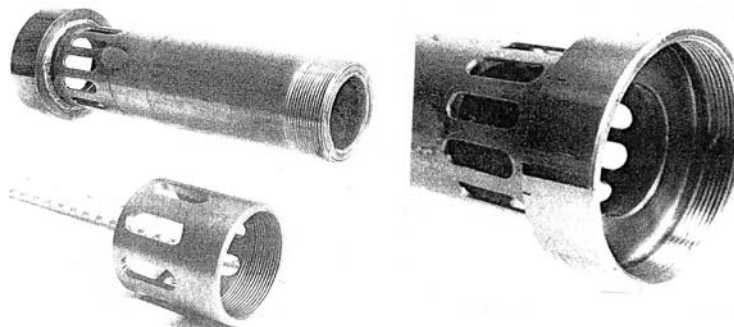


Рис. 17

Внутренняя оболочка 5 установлена симметрично относительно середины внешней оболочки 3 так, что входная и выходная части устройства представляют собой части внешней оболочки, в которых выполнены отверстия подвода внешнего воздуха в виде группы щелей на входной (6) и выходной частях (7), причем их продольные оси совпадают с образующей внешней оболочки 3. Плоскость I середины групп щелей на входной части совпадает с плоскостью выходного отверстия сверхзвукового сопла 2, а плоскость II середины групп отверстий на выходной части устройства расположена относительно выходной плоскости глушителя на расстоянии, равном $0,5 - 0,6$ его внутреннего диаметра. При этом площадь каждой группы щелевых отверстий составляет $0,6 - 0,8$ площади проходного поперечного сечения внешней оболочки корпуса.

На выходе из сопла 2 формируется сверхзвуковая газообразивная (газотермообразивная) струя (рис. 15), граница которой определяется углом α разлета твердых частиц (линия а – а), при этом струя генерирует звуковые колебания, которые излучаются в окружающую среду.

Энергия звуковых колебаний уменьшается за счет поглощения ее корпусом устройства, звукопоглощающим материалом 5 и превращения ее в тепловую энергию.

Одновременно через группу щелевых отверстий 6 на входной части устройства и 7 на его выходной эжектируется окружающий воздух внутрь устройства с образованием спутных основному кольцевых струй, которые обеспечивают дальнейшее снижение уровня звуковых колебаний, генерируемых газообразной струей, путем дополнительного поглощения их энергии и охлаждения корпуса устройства.

Размеры устройства (рис. 15) выбраны из соотношения

$$D_{вн} \geq d_c + 2(L - l_c) \operatorname{tg} \alpha, \quad (3)$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр корпуса глушителя; d_c – диаметр выходной части сопла; L – длина корпуса глушителя; l_c – длина цилиндрической части сопла; α – угол разлета твердых частиц.

На глушитель разработана конструкторская документация, и он был изготовлен (рис. 14, рис. 15).

Проведены испытания глушителя в составе установки ТАУ-100 на предприятии «ПромАнтикорзащита» (г. Запорожье).



Рис. 18

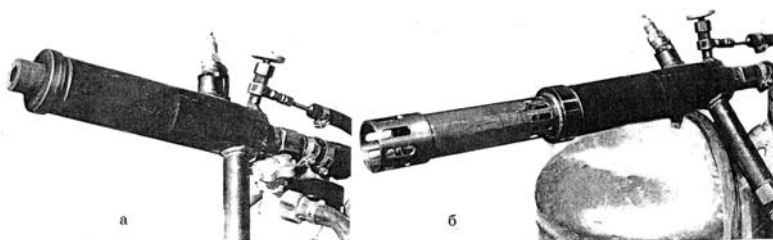


Рис. 19

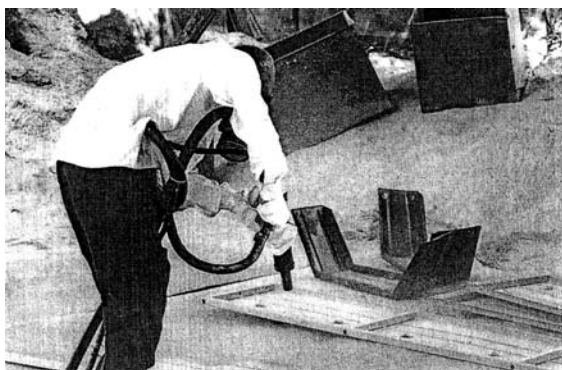


Рис. 20

Вид глушителя в составе установки ТАУ-100 приведен на рис. 18; на рис. 19а показана газоабразивная горелка установки ТАУ-100 без глушителя, а на рис. 19б – с установленным для испытаний глушителем.

На рис. 20 приведена фотография процесса испытаний с применением разработанного глушителя.

Испытания показали целесообразность конструктивных признаков, использованных в глушителе, и дали информацию о дальнейшей его конструктивной доработке с целью повышения эффективности снижения уровня шума сверхзвуковой газотермоабразивной струи.

Полученные результаты дают возможность продолжить исследования по созданию высокоэффективных глушителей шума сверхзвуковых высокотемпературных газоабразивных струй, генерируемых установками, реализующими метод газотермоабразивной очистки поверхности и обработки различных конструкций.

1. *Проволоцкий А. Е.* Струйно-абразивная обработка деталей машин / *А. Е. Проволоцкий.* – К. : Техніка, 1989. – 277 с.
2. Лакокрасочные покрытия в машиностроении. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. канд. техн. наук *М. М. Гольдберга.* – М. : Машиностроение. – 1974. – 576 с.
3. *Юценко К. А.* Інженерія поверхні / *К. А. Юценко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж.* – К. : "Наукова думка", 2007. – 558 с.
4. *Тимошенко В. И.* Исследование процессов в горелочных установках для высокоскоростного газопламенного напыления порошковых материалов с использованием расходного способа воздействия на поток / *В. И. Тимошенко, И. С. Белоцерковец, В. П. Галинский, В. Х. Кадыров, В. М. Кисель, Ю. И. Евдокименко* // Инженерно-физический журнал. 2001. – Т. 74, №6. – С. 156 – 161.
5. Патент України на винахід №57147, МПК⁷ B05B 7/20; Спосіб газотермічного напылення порошкових матеріалів, *Євдокименко Ю. І., Кисель В. М., Кадыров В. Х., Тимошенко В. І., Галинский В. П., Білоцерковець І. С.,* 2000 127585, заявлено 27.12.2000, опубліковано 16.06.2003, Бюл. №6.
6. Патент Российской Федерации на полезную модель №66236, МПК⁷ B24C 5 / 04; Сопло из сверхтвердого материала для создания газоабразивной струи, *Коваль В. Н., Кудрявцев К. К.,* 2007 112496 / 22, заявлено 05.04.2007, опубликовано 10.09.2007, Бюл. №25.
7. Патент Российской Федерации на полезную модель №65417, МПК⁷ B24C 5/04; Устройство для абразивно-струйной обработки изделий, *Поваров О. В., Рябов В. М., Бухарин И. А.,* 2006 128993/22, заявлено 09.08.2006, опубликовано 10.08.2007, Бюл. №22.
8. Патент Российской Федерации на полезную модель №26766, МПК⁷ B24C 5 / 04; Абразивоструйное сопло, *Рябов В. М., Гурвич А. А., Бухарин И. А., Нуриев Г. Н.,* 2002 120711/20, заявлено 30.07.2002, опубликовано 20.12.2002.
9. Патент Российской Федерации на изобретение, №217 5559, МПК⁷ B24C 3/00; B24C 5 / 00, Бустерное пескоструйное устройство, *Макаров М. А., Вебер К. Е., Абрамов А. В., Шидловский С. В., Никонов С. А.,* 2000 103383 / 02, заявлено 10.02.2002, опубликовано 10.11.2001.
10. Патент Российской Федерации на полезную модель №34434, МПК⁷ B24C 5/04; Устройство для струйно-абразивной обработки, *Блохин В. И., Первышин А. Н., Гуляев Ю. И.,* 2003 118239/20, заявлено 21.06.2003, опубликовано 10.12.2003.
11. Патент Российской Федерации на изобретение, №2201329, МПК⁷ B24C 5 / 04; Способ термоабразивной очистки поверхностей изделий и устройство для его осуществления, *Куришин С. С., Латицкий В. И., Новиков В. И., Томак В. И.,* 2002 115806 / 02, заявлено 14.06.2002, опубликовано 27.03.2003.
12. Патент України на винахід, №7194, МПК⁷ B24C 5 / 04; Пристрій для термоабразивного очищення металевих та бетонних конструкцій, *Лавришин Б. М., Студент М. М., Олійник Т. І., Демид М. П., Фенчин С. В., Гевський Я. Я., Кузик Б. І.,* 9403 1914, заявлено 17.03.1994, опубліковано 30.06.1995.
13. Патент України на винахід, №58928, МПК⁷ B24C 3 / 00; B24C 1 / 00; Пристрій термоабразивної обробки поверхні, *Гевський Я. Я., Лавришин Б. М., Похмурський В. І., Волошин М. П., Піддубний В. К.,* 2002 119362, заявлено 25.11.2002, опубліковано 15.08.2003.
14. Патент України на винахід, №31191, МПК⁷ B24C 1 / 00; Пристрій для обробки поверхні, *Тараканов А. Д., Рево С. Л., Борисов Ю. С.,* 98073872, заявлено 16.07.1998, опубліковано 29.03.2000.
15. Патент Российской Федерации на изобретение, №216 7756, МПК⁷ B24C 1 / 00; B24C 5 / 00; B24C 3 / 00; Способ термоабразивной обработки поверхностей и устройство для его осуществления, *Кострица В. Н., Мальцев В. Н.,* 99 118303/02, заявлено 27.08.1999, опубликовано 27.02.2001.
16. Патент Российской Федерации на изобретение, №2234 407, МПК⁷ B24C 1/00; B24C 5/02; Способ термоабразивной обработки поверхностей и устройство для его осуществления, *Казимирко Ю. В., Власов В. Ю., Коньков Л. Г.,* 2003 18405/02, заявлено 27.03.2003, опубликовано 20.08.2004.

17. Заявка Российской Федерации на изобретение, №2005 140391, МПК⁷ В24С 1 / 00; В24С 5 / 04; Способ термоабразивной обработки поверхностей и машина "Бобр" для его осуществления, *Гальченко Н. А., Анищенко А. В.*, заявлено 26.12.2005, публикация заявки 10.09.2006, Бюл. №25.
18. Патент США на изобретение №5283985, МПК⁷ В24С 1 / 00; Extreme Energy Method for Impacting Abrasive Particles Against a Surface to be Treated, James A. Browning, 45229, заявлено 13.04.1993, опубликовано 08.02.1994.
19. Европейский патент на изобретение №1155 781, МПК⁷ В24С 5 / 02; Lance Thermoabrasive, Cluchague, заявка FR 0006294, приоритет 17.05.2000, заявлено 15.05.2001, опубликовано 21.11.2001.
20. Патент Российской Федерации на изобретение, №2222 420, МПК⁷ В24С 5 / 00; Сопловой инструмент устройства для абразивно-струйной обработки поверхностей, *Гречишкин О. И.*, 2002 119455 / 02, заявлено 23.07.2002, опубликовано 27.01.2004.
21. Патент США на изобретение №US 2006 / 0128282A1, МПК⁷ В24С 3 / 00; В24С 5 / 04; Abrasive Blasting Device, *Oleg Ivanovich Grechishkin*, 10 / 522229, заявлено 23.07.2003, опубликовано 15.06.2006.
22. *Коновалов Н. А.* Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка / *Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик, Ю. А. Кваша, В. И. Коваленко.* – Днепропетровск : Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины, 2008. – 303 с.
23. *ГОСТ 12.1.003-83*, Шум. Общие требования безопасности.
24. *Ст. СЭВ 1930-79*, Шум. Допустимые уровни на рабочих местах и общие требования к проведению измерений.
25. *Клячко Л. Н.* Производственный шум и меры защиты от него в черной металлургии / *Л. Н. Клячко.* – М. : Металлургия. 1984. – 80 с.
26. *Самойлюк Е. П.* Борьба с шумом и вибрацией в промышленности / *Е. П. Самойлюк, В. А. Сазонов.* – К. : Вища школа, 1990. – 167 с.
27. Борьба с шумом на производстве. Справочник, под общей ред. д-ра техн. наук, проф. *Е. Я. Юдина.* – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
28. *Злобинский Б. М.* Борьба с шумом в черной металлургии / *Б. М. Злобинский, И. Н. Дрейман, Ю. А. Климов, Е. С. Пименов.* – К. : Техника, 1973. – 200 с.
29. *Погодин А. С.* Шумоглушающие устройства / *А. С. Погодин.* – М. : Машиностроение, 1973. – 176 с.
30. Аэрогидромеханический шум в технике, под ред. *Р. Хиклинга.* М. : Мир, 1980. – 336 с.
31. *Седельников Т. Х.* Автоколебательное шумообразование при истечении газовых струй / *Т. Х. Седельников.* – М. : Наука, 1971. – 85 с.
32. *Долин П. А.* Справочник по технике безопасности / *П. А. Долин.* – М. : Энергоиздат, 1987. – 800 с.
33. *Клюкин И. И.* Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / *И. И. Клюкин.* – Л. : Судостроение, 1971. – 416 с.
34. *Иванов Н. И.* Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах / *Н. И. Иванов.* – М. : Транспорт, 1978. – 272 с.
35. *Гинзбург И. П.* Аэрогазодинамика / *И. П. Гинзбург.* – М. : Высшая школа. – 1966. – 404 с.
36. *Авдеевский В. С.* Сверхзвуковые неизобарические струи газа / *В. С. Авдеевский, Э. А. Аиратов, А. В. Иванов, У. Г. Пирумов.* – М. : Машиностроение, 1985. – 248 с.
37. *Абрамович Г. Н.* Прикладная газовая динамика / *Г. Н. Абрамович.* – М. : Наука, 1969. – 824 с.
38. Альбом течений жидкости и газа, под ред. *М. Ван Дайк.* – М. : Мир, 1986. – 184 с.
39. *Авдеевский В. С.* Газодинамика процессов истечения / *В. С. Авдеевский, Э. А. Аиратов.* – Новосибирск : Наука, 1980. – 120 с.
40. *Садин Д. В.* Численное исследование структуры нестационарной двухфазной тонкодисперсной струи / *Д. В. Садин, О. В. Гузенков, С. Д. Любарский* // Прикладная механика и техническая физика. – 2005. №2. – С. 91 – 97.
41. *Юдаев Б. Н.* Теплообмен при взаимодействии струй с преградами / *Б. Н. Юдаев, М. С. Михайлов, В. К. Савин.* – М. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
42. *Гуськов О. В.* Процессы торможения сверхзвуковых течений в каналах / *О. В. Гуськов, В. И. Копченов, И. И. Липатов, В. Н. Острась, В. П. Старухин.* – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 168 с.
43. *Стернин Л. Е.* Основы газодимки двухфазных течений в соплах / *Л. Е. Стернин.* – М. : Машиностроение, 1974. – 212 с.
44. *Салтанов Г. А.* Сверхзвуковые двухфазные течения / *Г. А. Салтанов.* – Минск : Высшая школа, 1972. – 480 с.
45. *Бусройд Р.* Течение газа со взвешенными частицами, пер. с англ / *Р. Бусройд.* – М. : Мир, 1975. – 378 с.
46. *Пробстин Р. Ф.* Гиперзвуковые течения газа при наличии инородных частиц / *Р. Ф. Пробстин, Ф. Фассио* // Ракетная техника и космонавтика. – 1970. – Т. 8. №4. – С. 75 – 79.
47. *Деревич И. В.* Газодинамика и тепломассоперенос частиц при турбулентных течениях газозвеси в трубе и осесимметричной струе / *И. В. Деревич* // Теплофизика высоких температур. – 2002. – Т. 40, №1. – С. 86 – 99.
48. *Пахомов М. А.* Влияние испаряющихся капель на структуру турбулентной двухфазной затопленной струи / *М. А. Пахомов, В. И. Терехов* // Механика жидкости и газа. – 2009. – №3. – С. 102 – 113.
49. Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами / Под ред. *Л. Е. Стернина / Л. Е. Стернин, Б. Н. Маслов, А. А. Шрайбер, А. М. Подвысоцкий.* – М. : Машиностроение, 1980. – 172 с.

50. *Веревкин А. А.* Течение дисперсной примеси в сопле Лаваля и рабочей секции двухфазной гиперзвуковой ударной трубы / *А. А. Веревкин, Ю. М. Циркунов* // Прикладная механика и техническая физика. – 2008. – № 5. – С. 102 – 113.
51. *Тимошенко В. И.* Численное моделирование струйных течений / *В. И. Тимошенко, И. С. Белоцерковец* // Техническая механика. – 2008. – № 2. – С. 107 – 122.
52. *Спекенбергер Дж. Е.* Шум воздушно-абразивных струй. В сб. под ред. *Р. Хиклинга*. – Аэрогидромеханический шум в технике / *Дж. Е. Спекенбергер*. – М. : "Мир", 1980. – С. 199 – 212.
53. <http://www.corprotection.com.ua>
54. <http://www.gazodinamika.com.ua>
55. <http://www.lvivanticor.com.ua>
56. Заявка на выдачу патента Украины на полезную модель, №и 2009 05185 МПК⁷ В24С 1/00, В24С 5/00; Пристрій зниження рівня звуку газообразивного струменя, *Коновалов М. А., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорік О. Д., Коваленко В. І.* Заявлено 05.05.2009, решение о выдаче патента от 14.08.2009.
57. *Досанж Д. С.* Снижение шума сверхзвуковой струи с помощью холодных и горячих соосных струй // *Д. С. Досанж, П. К. Бхутани, К. К. Ахуджа* // AIAA Journal, Ракетная техника и космонавтика, май 1978. – Т. 16, №3. – С. 96 – 98.
58. *Досанж Д. С.* Снижение шума сверхзвуковых струй // *Д. С. Досанж, Абдельхамид* // AIAA Journal, Ракетная техника и космонавтика, декабрь 1971. – Т. 9, №12. – С. 52 – 60.
59. *Досанж Д. С.* Глушение шума недорасширенной струи посредством вдува сходящейся веерной струи / *Д. С. Досанж, Монтегани* // AIAA Journal, Ракетная техника и космонавтика, март 1969. – Т. 7, №3. – С. 90 – 98.

Институт технической механики
НАН Украины и НКА Украины,
Днепропетровск
ООО «Промышленная
антикоррозионная защита»,
Запорожье

Получено 19.10.09,
в окончательном варианте 19.10.09