

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ГЛУШИТЕЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ**

В статье приведена информация о разработке ведущими зарубежными фирмами конструкций и технологии изготовления глушителей звука выстрела стрелкового оружия из титановых сплавов и характеристики некоторых из них. Показана целесообразность замены традиционного материала для изготовления глушителей – нержавеющей стали – на сплавы на основе титана. Целью работы было создание конструкции глушителей звука выстрела стрелкового оружия из титановых сплавов и отработка технологии изготовления деталей и глушителя в целом, о чем в доступных источниках информации, в том числе зарубежных, сведений нет. Обоснован выбор марок титановых сплавов, используемых в конструкции глушителя. Приведено описание разработанной конструкции глушителя и даны сведения об основных технологических процессах и характеристиках режущего инструмента, применяемого при механической обработке деталей глушителя. Описана технология сборочно-сварочных работ при изготовлении расщепителя пороховых газов и глушителя в целом. Дана информация об используемом оборудовании и режимах сварки, вакуумно-термической обработки, операциях и оснастке по контролю геометрических характеристик изготовленного глушителя. Приведены сведения о методике натурных испытаний изготовленных глушителей и информация об их результатах. Дана информация о глушителях из титановых сплавов, созданных авторами для различных типов ручного стрелкового оружия. В результате выполненной работы впервые созданы отечественные глушители звука выстрела стрелкового оружия и технология их изготовления из титановых сплавов, не уступающие по своим характеристикам лучшим зарубежным аналогам.

В статті наведено інформацію про розробку ведучими іноземними фірмами конструкцій та технології виготовлення глушників звуку пострілу стрілецької зброї з титанових сплавів та характеристики деяких з них. Показана доцільність заміни традиційного матеріалу для виготовлення глушників – нержавіючої сталі – на сплави на основі титану. Метою роботи було створення конструкції глушників звуку пострілу стрілецької зброї з титанових сплавів та відпрацювання технології виготовлення деталей та глушника в цілому, про що в доступних джерелах інформації, в тому числі іноземних, відомостей немає. Обґрунтовано вибір марок титанових сплавів, що використовуються в конструкції глушника. Приведено опис розробленої конструкції глушника та дано відомості про основні технологічні процеси та характеристики ріжучого інструменту, який використовується при механічній обробці деталей глушника. Описано технологію складально-зварювальних робіт при виготовленні розсікача порохових газів та глушника в цілому. Надано інформацію про обладнання, яке використовується, та режими зварювання, вакуумно-термічної обробки, операцій та оснащення для контролю геометричних характеристик глушника. Приведено відомості про методику натурних випробувань виготовлених глушників та інформацію про їх результати. Надано інформацію про глушники з титанових сплавів, створені авторами для різних типів ручної вогнепальної зброї. В результаті виконаної роботи вперше створено вітчизняні глушники звуку пострілу стрілецької зброї та технологію їх виготовлення з титанових сплавів, які не поступаються по своїх характеристиках кращим іноземним аналогам.

The paper presents information on the designs and a technology for titanium sound suppressors developed by the leading foreign companies and the characteristics of certain sound suppressors. The advisability for changing a conventional material for manufacturing sound suppressors (stainless steel) to titanium-based alloys is demonstrated. The work aim is to create a design of sound suppressors of titanium small arms and develop a technology for manufacturing components and the sound suppressor as a whole information of which is not conveyed in the available literature including foreign one. The choice of sorts of titanium alloys for the sound suppressor design is validated. The developed sound suppressor design and data on the main technological processes and characteristics of the cutting tools for machining the sound suppressor parts are presented. A technology for assembling and welding a splitter of powder gases and the sound suppressor as a whole is considered. Data on the used equipment and the welding regimes, vacuum and heat treatment, operations and equipment for control of the geometric characteristics of the manufactured sound suppressor are presented. Information about the technique of full-scale tests of the manufactured sound suppressors and their results is provided. The authors' titanium sound suppressors for various types of small hand arms are reviewed. This work has resulted in creation of the pioneering domestic sound suppressors and a titanium production technology which cannot be surpassed by any other existing analogues.

До недавнього часу найпоширенішим матеріалом для виготовлення глушителей звука выстрела стрелкового оружия была нержавеющая сталь 08X18H10T (марка 304 по классификации США) [1 – 3].

В последние несколько лет ведущие фирмы по разработке и изготовле-

© Н.А. Коновалов, О.В. Пилипенко, А.Д. Скорик, В.И. Коваленко,
А.И. Загреба, С.В. Пихотенко, А.А. Яковлев, 2013

нию глушителей звука выстрела стрелкового оружия стали переходить на конструкции из титановых сплавов.

Так, в [4 – 10] приведены сведения и даны характеристики глушителей звука выстрела из титановых сплавов, созданных специализированными фирмами в последнее время для оружия различного калибра.

Например, глушитель «Титан-QD» фирмы Advanced Armament Corporation изготовлен из титанового сплава Grade 5 (аналог отечественного сплава ВТ6) на оружие калибра .338LM и имеет массу 570 г против 1080 г у такого же глушителя из нержавеющей стали, редуцию 32 дБ, длину 254 мм, диаметр 47 мм и цену ~ 1995\$ [4].

Представленный в 2012 году [5] глушитель этой же фирмы, «300-ТМ» при калибре оружия .300WM/7,62NATO имеет массу 400 г, длину 240 мм, диаметр 38 мм, редуцию 28 – 33 дБ и цену ~ 1795 \$. Материал глушителя – титановые сплавы Grade 5 (ВТ6) и Grade 9 (близок по характеристикам к ПТ-3В). В 2012 году этой фирмой был представлен также глушитель Titan-Ti под калибр оружия .338WM; .300WM, изготовленный из титановых сплавов Grade 5 и Grade 9, массой 600 г, длиной 254 мм, диаметром 47 мм, редуция –38 дБ, цена – 1695 \$.

Имеют в своем активе глушители из титановых сплавов фирмы AWC System Technology [6], GEMTECH [7], Sure Fire [8] и другие.

О разработке конструкций и технологии изготовления глушителей звука выстрела стрелкового оружия из титановых сплавов и их применении армейскими подразделениями и подразделениями специального назначения в Российской Федерации, Украине и других странах бывшего СССР сведений в доступных авторам источниках информации нет.

Преимущества титановых сплавов для использования в конструкциях глушителей высокотемпературных импульсных сверхзвуковых потоков подтверждаются их изготовлением и использованием для глушения шума выхлопа двигателей внутреннего сгорания фирмами HONDA, Suzuki, Yamaha, Kawasaki, Nissan, несмотря на их высокую цену (~ 6,0 – 8,0 тысяч долларов) [11, 12].

Широкое использование титановых сплавов объясняется их преимуществами перед другими конструкционными материалами по удельной прочности, жаростойкости в сочетании с высокой коррозионной стойкостью. Сплавы титана хорошо свариваются, в настоящее время создана и освоена технология их обработки резанием, термической и вакуумно-термической обработки [13].

Механические свойства титановых сплавов характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности. Например, титановый сплав ВТ1-0 имеет $\sigma_b = 375 - 540$ МПа, $\sigma_{0,2} = 295 - 410$ МПа, $\delta \geq 20\%$ и по этим характеристикам не уступает ряду углеродистых и Cr – Ni коррозионностойких сталей [14 – 19].

Так что вывод работы [16]: «По комплекту физико-механических свойств титановые сплавы являются универсальным конструктивным материалом, сочетая нехладноломкость алюминия и аустенитных сталей, высокую коррозионную стойкость лучших медноникелевых сплавов и нержавеющей сталей, немагнитность, прочность и удельную прочность более высокие, чем у большинства конструкционных материалов», сделанный почти полвека назад, подтверждается широким применением титановых сплавов в конце XX – начале XXI века [20 – 25].

В последние годы выполняется совместная программа стран НАТО, США и Великобритании по интенсификации использования сплавов титана в системах вооружений и обороны [24]. Предполагается поставить на вооружение гранатометы, ручные огнеметы, выполненные из титановых сплавов, разрабатываются орудийные пламегасители из этих материалов [24], титановые сплавы за рубежом используются для изготовления деталей стрелкового оружия [25]. Мировая отраслевая структура потребления титановых сплавов имеет следующий вид (%): военная техника – 13, гражданское самолетостроение – 34, потребительские товары – 8, промышленность – 45 [23]. В США около 40% потребления титановых сплавов приходится на авиакосмическую и 16% – на оборонную промышленность [23].

Авторами создан и описан [26] компактный глушитель звука выстрела для автоматов АКС-74У, используемых подразделениями специального назначения, конструкция которого защищена патентом Украины на изобретение № 93693 [27].

Задачей, решаемой авторами, было создание на его концептуальной базе глушителя, в конструкции которого учтены особенности технологии изготовления изделий из титановых сплавов, разработка и освоение этой технологии, изготовление экспериментальных образцов глушителей и их натурные испытания. Разработанный глушитель получил индекс ПСУЗВ-11Т.12-5,45, его конструкция представлена на рис. 1 и рис. 6.

Марки и химический состав титановых сплавов определены ГОСТ 19807-91 [28]. Заготовки для изготовления глушителей выбирались по ГОСТ 22897-86 [29] для труб и ГОСТ 26 492-85 [30] для прутков.

При этом, исходя из технологичности, удельной прочности и коррозионной стойкости, а также доступности необходимой номенклатуры полуфабрикатов и заготовок, с учетом применяемости титановых сплавов определенных марок в конструкциях зарубежных глушителей (Grade 5, Grade 9 по классификации США) для использования в конструкции ПСУЗВ-11Т.12-5,45 были выбраны титановые сплавы марок VT1-0; VT5; VT5-1; VT6 [28].

Основные технологические процессы при изготовлении глушителей из титановых сплавов – обработка резанием (механообработка): точение, сверление, нарезание резьбы, фрезерование; травление; сварка; термообработка; правка; пескоструйная обработка; контроль качества выполненных техпроцессов и выполнения требований чертежно-технической документации к габаритно-массовым и геометрическим характеристикам полученного изделия.

Обработка резанием – основная по трудоемкости технология изготовления ПСУЗВ. При ее выполнении были учтены такие требования к безопасности проводимых работ [31].

Механическую обработку деталей из титановых сплавов проводили на отдельном участке на металлорежущем оборудовании: токарных, сверлильных, фрезерных станках, оборудованных для подачи смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

В общем, технологический процесс механической обработки резанием титановых сплавов включал:

- ознакомление с технологическим маршрутом обработки;
- получение необходимых средств технологического оснащения и инструмента (режущего и измерительного);
- проверку качества режущего инструмента;

- подготовку системы подачи СОЖ, заправку системы станка;
- выполнение обработки с обязательной подачей в зону резания СОЖ.

Вредными и опасными факторами при первичной обработке титановых сплавов являются воспламеняемость стружки при температуре 700 – 800°С, взрывоопасность при концентрации пыли титановых сплавов более 45 г/м³, а также токсичность компонентов СОЖ.

При обработке деталей ПСУЗВ не допускалось применение режущего инструмента с тупой режущей кромкой. Износ по задней поверхности режущей части инструмента не превышал 0,3 – 0,5 мм.

Помещение, в котором выполнялась обработка деталей из титановых сплавов, было оснащено приточно-вытяжной вентиляцией.

При обработке деталей из титановых сплавов не назначались подачи менее 6,0 мм/об, припуск менее 0,1мм, со скоростями резания более 100 мм/мин. При точении титанового сплава ВТ1-0 допускалась скорость резания до 150 мм/мин. [32, 33, 34].

«Для производственной обработки титана необходимы жесткие и мощные станки, соответствующие режущие инструменты, программируемая траектория перемещения инструмента, жесткие зажимные устройства для закрепления обрабатываемых деталей и эффективная система охлаждения» [35].

Теплофизические свойства титановых сплавов обуславливают возникновение высокой температуры в месте контакта срезаемого слоя с передней поверхностью режущего инструмента.

В зоне резания без применения принудительного охлаждения температура достигает такого уровня, при котором в срезанном и поверхностном слоях обрабатываемой детали возникает комплекс сложных физико-химических процессов:

- из-за высокой активности титана к атмосферным газам, уже при температуре 600 – 700°С срезанный слой интенсивно поглощает кислород, а при температуре 800°С и выше – азот. В результате в этом слое происходят фазово-структурные изменения, утрачивается пластичность и происходит выкрашивание срезанного слоя [36]. Кроме того, сплавы на титановой основе оказывают высокое абразивное воздействие на инструмент вследствие содержания в них высокотвердых включений в виде окислов нитридов и карбидов.

Перечисленное приводит к повышенному износу режущего инструмента, а также к появлению наростообразования, схватывания и задиров [37].

Однако при использовании современных технологий, оборудования и инструмента, титановые сплавы можно обрабатывать так же успешно, как и конструкционные стали [37 – 42]. Основные закономерности, рекомендации по режимам механообработки деталей из титановых сплавов и используемому инструменту даны еще в 1970 году [34] и сохраняют свое значение и до настоящего времени.

При обработке деталей для ПСУЗВ из титановых сплавов условия резания выбирали, учитывая, кроме необходимой производительности, требуемое качество обработанной поверхности и прилегающего к ней слоя, а также возможные упрочнение, остаточные напряжения, точность обработки, шероховатость поверхности, стойкость режущего инструмента.

С целью повышения эффективности точения заготовок деталей ПСУЗВ, предварительно с внешней поверхности заготовок (прутков) удалялась окисная пленка и корка путем их опескоструивания с последующим травлением. Для сохранения исходных свойств титанового сплава пескоструйная обра-

ботка выполнялась при малой скорости воздушной струи, чтобы температура обрабатываемой поверхности не превышала 427°C [43]. Об удалении поверхностного слоя свидетельствовал равномерный светло-серый цвет поверхности прутков.

После этого заготовки подвергали травлению при температуре 20 – 30°C в водном растворе, содержащем 16% азотной и 5% фтористо-водородной кислот, а затем промывали в воде. Продолжительность травления определяли по виду заготовок: их поверхность должна была иметь глянцевый металлический блеск. Эта обработка существенно облегчала последующее точение, увеличивая стойкость резцов с твердосплавной пластиной из ВК8 ~ в 3 раза.

Основные характеристики режимов резания и используемого инструмента были такими.

Точение.

Черновое точение. Резцы оснащались пластинами из твердых сплавов ВК12Та, ВК8Та, ВК8. Геометрия режущей части резца: фаска вдоль главной режущей кромки $f = 0,5...0,7$ мм; передний угол на фаске $\gamma_f = 0 \div 5^\circ$, на остальной части передней поверхности $\gamma = 8 \div 10^\circ$, задние углы $\alpha = \alpha_1 = 15^\circ$; углы в плане $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 15^\circ$; радиус при вершине $R = 0,6 \div 0,8$ мм; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0 \div 5^\circ$. Параметры режима резания: $v = 7 \div 25$ м/мин; $s = 0,25 \div 0,40$ мм/об; $t = 2 \div 8$ мм. При выполнении данной операции применяли в качестве смазочно-охлаждающей жидкости эмульсию стандартного состава, подаваемую непрерывно и обильно обычным способом (поливом).

Чистовое и получистовое точение. При получистовом непрерывном точении применялись резцы, оснащенные пластинами из твердых сплавов ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8Та, ВК12Та, а при чистовом – резцы с пластинами из сплавов ВК2, ВК4, ВК6М, ВК6, ВК8, ВК8Та. Геометрические параметры отличались от приведенных для чернового точения лишь величинами переднего угла на фаске и угла наклона главной режущей кромки, которые принимались равными соответственно $\gamma_f = 0 \div 5^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$. При непрерывном точении резцами, оснащенными пластинами из твердых сплавов указанных марок, в зависимости от технологических требований и структуры сплава обрабатываемой заготовки принимались следующие режимы резания: $v = 20 \div 100$ м/мин; $s = 0,1 \div 0,2$ мм/об; $t = 0,3 \div 1,0$ мм.

Фрезерование. Фрезерование при изготовлении деталей глушителя использовалось для получения 12 пазов шириной по 4 мм в кольцевой цилиндрической поверхности, выполненной заодно с конусами 6, 7 (рис. 1) по ранее проточенной поверхности, и было чистовым. Использовались фрезы из быстрорежущей стали, легированной кобальтом (P8M3K6C; P18Ф2K8M) [44]. В качестве СОЖ применялась P3-СО7К8, массовая доля 5 – 8%, расход 6 – 8 литров в минуту.

Принимались следующие режимы резания:

$$v = 5 \div 15 \text{ м/мин}; S_z = 0,05 \div 0,12 \text{ мм/зуб}; t = 0,5 \div 2,0 \text{ мм}.$$

Сверление. В деталях ПСУЗВ сверлением выполнялись отверстия диаметрами 2,5; 4,0; 5,0; 6,5 и 7,0 мм, а также технологическое отверстие для последующей расточки внутренней поверхности штуцера 5 под нарезание резьбы М24×1,5. При этом использовались сверла из быстрорежущей стали по ГОСТ 10902-77 [45].

Геометрические параметры сверл были: $\gamma = 0 \div 3^\circ$; $\alpha = 12 \div 15^\circ$; $2\varphi = 120 \div 130^\circ$; $\omega = 25 \div 30^\circ$, а режимы резания – $v = 3 \div 7$ м/мин; $s = 0 \div 0,03$ мм/об.

Критерием затупления сверла считался износ на участках задних поверхностей 0,4 – 0,5 мм.

При сверлении применялась СОЖ РЗ-СО7К8.

Нарезание резьбы. В изготавливаемом ПСУЗВ нарезался один вид резьбы и в одной детали – штуцере, М24×1,5 – внутренняя резьба. Оно осуществлялось с помощью специально заточенного резца с твердосплавной пластиной из ВК-8. Геометрия режущей части резца была: $\gamma = 0^\circ$, задние углы $\alpha = 10 - 15^\circ$; $\alpha_1 = \alpha_2 = 10 - 12^\circ$; угол при вершине в плане $\varepsilon = 59^\circ 30' - 59^\circ 45'$. Нарезание резьбы осуществлялось в несколько проходов: так как резьба имела шаг 1,5 мм, то ее выполняли за 4 – 5 черновых и 2 – 3 чистовых прохода. При этом скорость резания выбиралась в пределах 15 – 25 м/мин. При этом в зону резания подавалась СОЖ. Критерием затупления резца считался износ по задней поверхности у вершины, равный 0,25 – 0,35 мм.

Сварка. Детали и сборки из титановых сплавов, образующие конструкцию ПСУЗВ-11Т.12-5,45, соединены между собой с помощью сварки.

Для титана и его сплавов применяется дуговая сварка в среде инертных газов, электронно-лучевая, плазменная, автоматическая под слоем флюса, электрошлаковая, высокочастотная, контактная, диффузионная, холодная, взрывом, прокаткой биметаллов [46].

Для изготовления ПСУЗВ-11Т.12-5,45 выбрана технология аргонодуговой сварки (сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в среде защитного газа – аргона – с подачей в зону сварки присадочной проволоки).

Процессы сварки и контроля качества сварных соединений регламентируются рядом стандартов, требования которых выполнялись при разработке конструкции и технологии изготовления глушителя [47 – 51].

В [52] отмечается «Независимо от типа сплавов при сварке конструкций рекомендуется вести процесс в камерах с защитной атмосферой либо обеспечивать тщательную устойчивую защиту всей зоны сварки. Нарушение этих условий приводит к значительному газонасыщению металла шва, особенно его поверхностных слоев. При сварке в контролируемой атмосфере увеличение общего содержания газов в металле шва незначительно, а содержание водорода вследствие его десорбции и диффузного перемещения в околошовную зону снижается».

Все технологические операции по сварке ПСУЗВ-11Т.12-5,45 проводились в камере с контролируемой атмосферой (рис. 3). Камера заполнялась аргоном высшего сорта по ГОСТ 10157-73 [53].

В камере создавалась и поддерживалась в процессе сварки инертная среда заданной чистоты. Обеспечивалась циркуляция аргона, загрязненного в процессе сварки, из камеры в очистку, а очищенного – обратно в камеру.

Предусмотрено два способа заполнения камеры аргоном. При первом способе камера вакуумировалась до давления 10^{-3} мм рт. ст., после чего заполнялась аргоном. При втором способе заполнение камеры происходило вытеснением из нее воздуха при наполнении аргоном. Во время работы внутри камеры поддерживалось избыточное давление аргона $0,1 \div 0,3$ кгс/см².

С целью обеспечения высокого качества сварных швов предварительно контролировали соответствие металла заготовок, присадочной проволоки,

вольфрамовых электродов, защитных газов требованиям стандартов, сертификатов и заводских документов.

В процессе промежуточного контроля проверяли качество подготовки кромок деталей под сварку, правильность сборки согласно конструкторской документации и технологическому процессу, состояние сварочного оборудования и приспособлений.

Перед подачей на сварку детали подвергались травлению в растворе состава (мл/л): 220 – 300 плавиковой кислоты HF, 480 – 500 азотной кислоты HNO₃. Время травления составляло 1,5 – 2,0 часа при температуре 25 – 30°C. Затем следовало осветление в растворе состава (мл/л): 600 – 700 HNO₃ и 85 – 100 HF в течение 3 – 5 мин. [54].

Непосредственно перед сваркой места сварки на ширине 15 мм зачищали мелкой наждачной бумагой и промывали бензином Б-70 с последующим обезжириванием этиловым спиртом-ректификатом с использованием бязи.

При проведении сварки использовали горелку типа РГА [46], вольфрамовый неплавящийся электрод по ГОСТ 23949-80 [55] и присадочную проволоку из ВТ1-0 по ГОСТ 27265-87 [56].

Рабочая часть вольфрамового электрода была заточена на угол 45° и приуплена до диаметра 0,5 – 0,8 мм, присадочная проволока прошла вакуумный отжиг и была обезжирена этиловым спиртом-ректификатом.

Табл. 1 Режимы ручной аргоно-дуговой сварки титана неплавящимся электродом в среде аргона

Толщина свариваемого металла	Диаметр вольфрамового электрода	Сила сварочного тока, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Число проходов
мм				
2	2 – 3	70 – 100	1,5 – 2,0	1,0
4	3,0	130 – 140	1,5 – 2,0	1,0 – 2,0
6	3,0	160 – 180	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
8	4,0	180 – 220	2,0 – 3,0	3,0 – 6,0
10	5,0	220 – 260	2,0 – 3,0	8,0 – 10,0

При этом выполнялись требования:

1. Сварку вели постоянным током прямой полярности.
2. Дугу зажигали касанием вольфрамового электрода к свариваемому изделию только при наличии гелия с избыточным давлением $0,1 \div 0,3 \text{ кгс/м}^2$ в камере.
3. При наплавлении валика вольфрамовый электрод размещали под углом $70 - 85^\circ$ к поверхности свариваемого изделия, а присадочную проволоку – под углом $90 - 100^\circ$ к оси электрода.
4. Вылет вольфрамового электрода был равен 6 – 8 мм; длина дуги поддерживалась в пределах 1 – 2 мм.
5. Присадочный материал вводился в зону сварки равномерно, без поперечных колебаний, опираясь концом стержня на край сварочной ванны.
6. Горелку перемещали равномерно-поступательно без поперечных колебаний.
7. Дугу гасили выключением сварочного тока кнопкой, расположенной на горелке, предварительно заплывив кратер.

После сварки и остывания изделие вместе с оснасткой (сборочно-сварочным приспособлением) извлекалось из камеры и проводили контроль

качества сварных швов в соответствии с ДСТУ ISO17637:2003 [50]; ДСТУ ISO 3834-2001 [48]; ДСТУ 3491-96 [49]; ГОСТ Р ИСО 5817-2009 [47].

Внешний осмотр проводился после тщательной очистки сварочного соединения от шлака, брызг и других загрязнений. При осмотре выявляли: непровар, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, подрезы, трещины в сварных швах и в зоне термического влияния, пористость, смещение свариваемых элементов, правильность формы, размеров и расположения сварных швов, их соответствие чертежам, стандартам, техническим условиям. Осмотр проводили без применения лупы или с помощью лупы с увеличением до 10 раз. Границы трещин выявляли после шлифовки дефектного участка наждачной бумагой и травления [58].

Блестящая серебристая поверхность шва свидетельствует о хорошей защите и удовлетворительных свойствах шва. Цвета побежалости, желто-голубой цвет шва или появление на нем серых налетов либо бурых пятен указывает на плохую защиту. Такая поверхность характерна для швов, имеющих пониженную пластичность и вязкость вследствие загрязнения примесями, в основном газами.

При проектировании глушителя и выполнении сварочных работ применялись конструкторские и технологические приемы, позволяющие максимально уменьшить остаточные сварочные напряжения и деформации [59].

Назначались минимальные сечения сварных швов (уменьшение наплавленного металла в конструкции), симметричное относительно центра тяжести поперечного сечения расположение швов, применены прерывистые швы при сварке рассекателя и глушителя в целом. Применялось жесткое сборочно-сварное приспособление, что обеспечивало создание деформаций, обратных сварочным. Назначались наиболее экономичные режимы, что обеспечивало снижение погонной энергии сварки. Применялась рациональная последовательность сборочно-сварных операций. После сварки проводилась холодная механическая правка рассекателя на монтажной плите, что обеспечивало пластическую деформацию изделия, устраняющую сварочные напряжения и отклонения от требуемой формы.

Кроме того, проводилась термическая (вакуумно-термическая) обработка-отжиг рассекателя и изделия в целом.

Для выбранных с целью использования в конструкции глушителя титановых сплавов отжиг – единственный вид термической обработки, который обеспечивает снятие внутренних напряжений, образовавшихся в процессе термического цикла сварки, а также стабилизацию структуры сварного соединения с целью получения оптимальных свойств в отожженном состоянии и сохранения их неизменными после длительного нагрева при рабочих температурах. Вакуумный отжиг обеспечивает также дегазацию сварного соединения от водорода [52, 60].

Для выбранных титановых сплавов применяются два вида термической обработки – полный отжиг и неполный отжиг.

Отжиг сварных соединений титановых сплавов состоит из нагрева до температуры рекристаллизации или до температуры фазового превращения, выдержки при заданной температуре и последующего охлаждения, медленного с печью или ступенчатого.

Для отжига после сварки рассекателя пороховых газов глушителя в целом использовалась вакуумная установка (электropечь), принцип работы которой

заключается в нагреве обрабатываемого изделия в вакууме (10^{-3} мм рт.ст.) до определенной температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения.

Для рассекателя пороховых газов проводили неполный, а для глушителя в целом – полный отжиг.

Полный отжиг состоял из нагрева до температуры выше температуры начала рекристаллизации, но ниже температуры полиморфного превращения, выдержки при указанной температуре и последующего охлаждения.

Неполный отжиг проводился по указанной схеме, но при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Температура полного и неполного отжига, которая применялась при термообработке, приведена в табл. 2 [61].

Табл. 2 Температура термической обработки

Марка сплава	Неполный отжиг, °С	Полный отжиг, °С	
		Листы и детали из них	Прутки, поковки, профили и детали из них
BT1-00 BT1-0	450 – 490	520 – 540	670 – 690
BT5-1	500 – 600	800 – 850	

Время выдержки при установленной температуре отжига приведено в табл. 3 [61].

Табл. 3 Время выдержки при температуре полного отжига

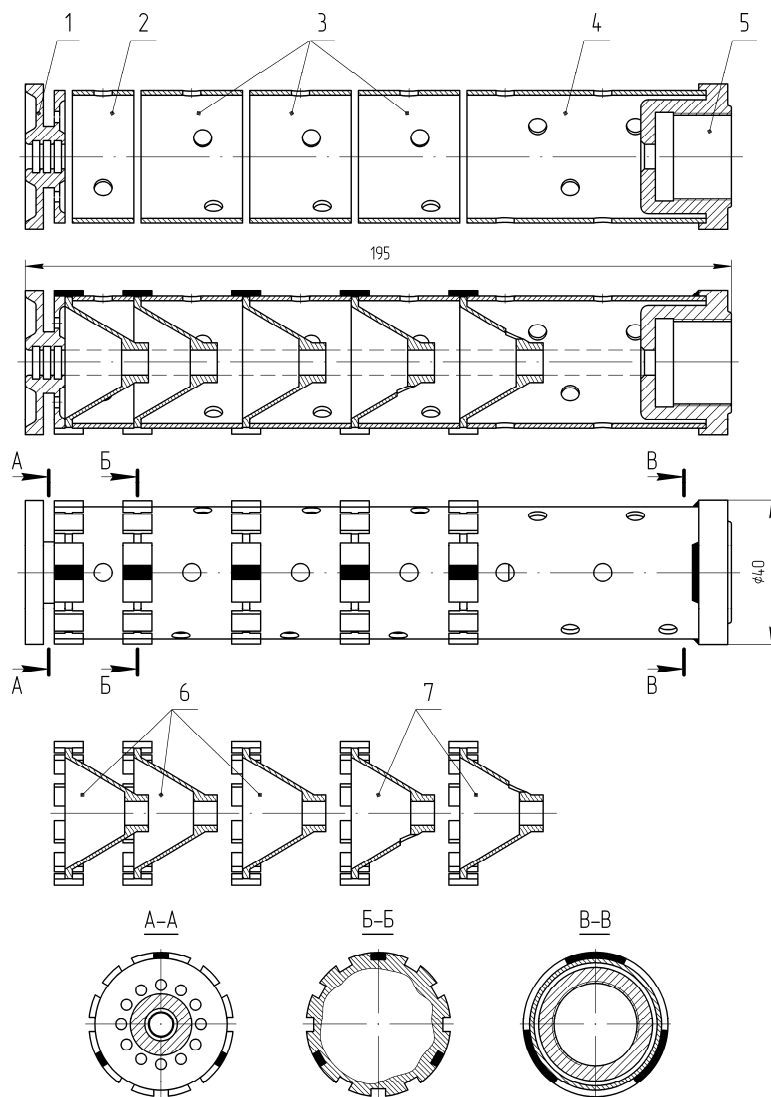
Максимальная толщина (диаметр), мм	Время выдержки, мин.
до 1,5 (вкл)	10
1,8 – 2,0	15
6,0 – 15,0	30
15,0 – 25,0	50
25,0 – 35,0	1 ч. 10 мин.
35,0 – 50,0	1 ч. 30 мин.

Одна садка отжигалась по режиму детали с максимальной толщиной (диаметром). Разница в толщине (диаметрах) деталей и заготовок, помещенных в одной садке, не превышала 30 мм.

Время прогрева термообрабатываемых изделий до заданной температуры отжига установили согласно рекомендациям [61], табл. 4.

Табл. 4 Время прогрева заготовок до заданной температуры отжига

Диаметр или толщина заготовки (детали), мм	Время, мин.	
	min	max
3 и менее	5	10
10	10	15
20	10	20
30	15	30
60	20	40



5 мест
Рис. 1

Основные конструктивные узлы рассматриваемого глушителя звука выстрела – рассекатель пороховых газов и гильза (корпус). Изготовление ПСУЗВ идет в такой последовательности.

Конструктивный элемент глушителя звука выстрела стрелкового оружия, определяющий эффективность шумоглушения, точность и кучность стрельбы

– рассекатель пороховых газов. У ПСУЗВ-11Т 12-5,45 (рис. 1) он состоит из крышки 1, втулок 2, 3, 4, штуцера 5, и конусов 6, 7. Сборка и сварка рассекателя осуществляются в специальном сборочно-сварочном приспособлении.

На сборку и сварку подаются (рис. 2):

– крышка 1, изготовленная из прутка титанового сплава ВТ1-0 $\varnothing 41$ по ГОСТ 26492-85 путем точения на токарно-винторезном станке 16К20 с использованием резца из твердого сплава ВК-8 с указанными в разделе «Точение» настоящей статьи заточкой, режимами резания и подачей в зону резания СОЖ. В крышке путем сверления с использованием сверл [45] и кондуктора с указанной в разделе «Сверление» настоящей статьи заточкой и режимами сверления выполнены 12 отверстий $\varnothing 3$ мм, равномерно расположенные по окружности $\varnothing 22$;

– втулки 2, 3 и 4, выполненные точением из трубы $\varnothing 38 \times 2$, сплав ВТ1-0 ГОСТ 22 837-86, втулка 2 имеет длину 17 мм, 3 – 28 мм, 4 – 66 мм; в боковой поверхности втулок путем сверления с использованием кондуктора выполнены радиальные отверстия $\varnothing 5$;

– конусы 6 и 7, выполненные точением из прутка $\varnothing 41$, сплав ВТ1-0 по ГОСТ 26492-85; все конусы имеют длину 26 мм, конусность 60° и максимальный наружный диаметр $\sim 40,0$ мм, конусы 7 отличаются от остальных наличием на их боковой поверхности сквозного отверстия; по продольной оси конусов просверлены отверстия $\varnothing 6,5$; на большем основании конуса образован ряд выступов, которые представляют собой части цилиндрического кольца, выполненного заодно с конусом и полученные путем торцевого фрезерования в нем двенадцати продольных пазов шириной по 4 мм каждый, причем выступы расположены симметрично относительно основания конуса (выступают за плоскости основания на 3 мм в каждую сторону);

– штуцера 5, выполненные токарной обработкой из прутка $\varnothing 41$, сплав ВТ1-0 по ГОСТ 26492-85, длиной 25 мм, максимальным диаметром 40 мм и центральным отверстием $\varnothing 7$ мм.

Перед сборкой все детали проходят травление при температуре $20 - 30^\circ\text{C}$ в растворе, содержащем 16% азотной и 5% фтористо-водородной кислот, затем промываются водой, сушатся и обезжириваются этиловым спиртом.

Детали, составляющие рассекатель пороховых газов, устанавливаются в сборочно-сварочное приспособление и жестко фиксируются в нем в последовательности, показанной на рис. 1. Места под сварку зачищаются и обезжи-



Рис. 2

риваются бензином Б-70 и этиловым спиртом, после чего приспособление с установленным в нем рассекателем помещается в сварочную камеру (рис. 3),

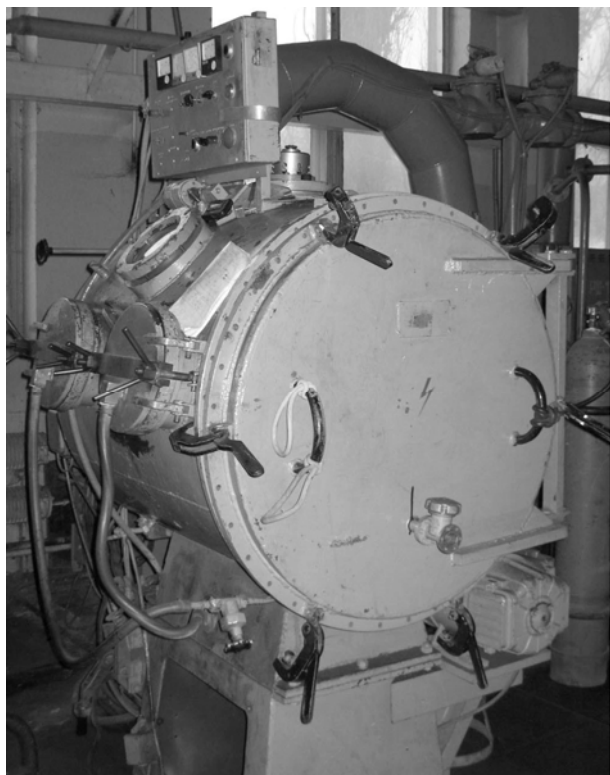


Рис. 3

заполняемую аргоном. Сварку ведут аргонно-дуговым способом неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей в зону сварки отожженной присадочной проволоки из сплава ВТ1-00 ГОСТ 27265-87 при выполнении требований к технологии и режимам, изложенным в разделе «Сварка» настоящей статьи. Сварку выполняют в местах, отмеченных на рис. 1 черным цветом.

После выполнения сварки и остывания изделия вместе с камерой, его извлекают и проводят визуальный контроль качества сварных швов. Швы должны быть ровными и блестящими без цветов побежалости и серого налета.

При необходимости более тщательного контроля качества сварки, шов зачищают мелкой наждачной бумагой и осматривают в десятикратную лупу. Внешний вид рассекателя после сварки представлен на рис. 4.

Далее проводят термообработку рассекателя (отжиг в вакуумной камере)



Рис. 4

при вакуумировании ее до давления 10^{-3} мм рт. ст. и при параметрах, указанных в разделе «Термообработка» настоящей статьи.

После термообработки рассекателя проводят контроль его основных габаритных размеров, прямолинейности продольной оси и наличия других ненормативных остаточных деформаций.

В случае недопустимого отклонения от прямолинейности продольной оси рассекатель подвергают холодной правке механическим способом на монтажной плите до получения требуемых геометрических характеристик.

После этого рассекатель устанавливают на токарно-винторезный станок и протачивают его наружную поверхность до диаметра 40 мм для обеспечения собираемости с гильзой (рис. 5).

После протачивания рассекатель подвергают травлению в растворе указанного ранее состава, промывают в воде, сушат и обезжиривают этиловым спиртом.

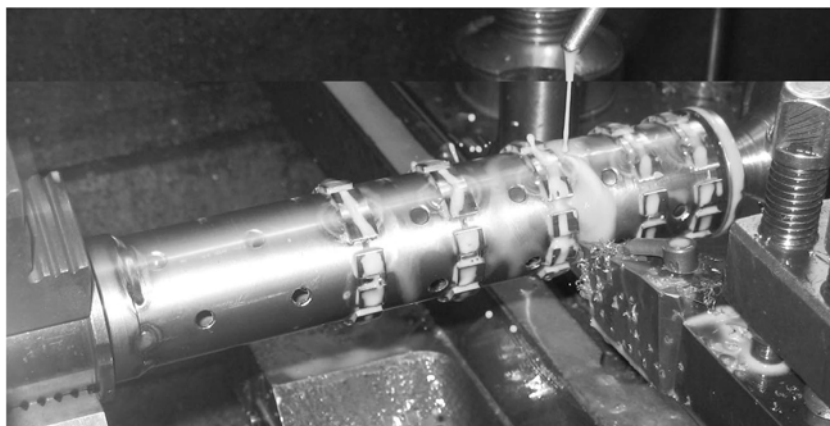


Рис. 5

На рис. 6 приведена схема окончательной сборки прибора снижения уровня звука выстрела ПСУЗВ-11Т 12-5,45. На сборку подаются гильза (I) и рассекатель (II) (рис. 7). Полученное изделие – ПСУЗВ (III). Гильза выполнена из трубы $\varnothing 45 \times 2,5$, материал – сплав ВТ1-0, ГОСТ 22897-86. Наружный диаметр 43 мм получают протачиванием трубы на токарно-винторезном станке проходным резцом с твердосплавной режущей пластиной из сплава ВК-8. На поверхности гильзы на длине ~ 98 мм выполнено сетчатое рифление 0,8 по ГОСТ 21474-75. Внутренний диаметр трубы оставляют в состоянии поставки (40 мм). В пяти поперечных сечениях гильзы выполнены по четыре цилиндрических радиальных отверстия $\varnothing 2,5$ мм, равномерно расположенные по окружности на одних и тех же образующих наружной цилиндрической поверхности. Перед сборкой гильзу подвергают травлению, сушке и обезжириванию.

Рассекатель (II) устанавливают в гильзу (I) и закрепляют в сборочно-сварочном приспособлении, которое помещают в сварочную герметичную камеру, заполненную аргоном.

Сварку ведут аргонно-дуговым способом неплавящимся вольфрамовым электродом с подачей в зону сварки присадочной проволоки по технологии и режимам, указанным в разделе «Сварка» настоящей статьи.

Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций сначала выполняют сварку гильзы с рассекателем в пяти поперечных сечениях, в которых под сварку образованы отверстия $\varnothing 2,5$ мм, затем накладывают кольцевые

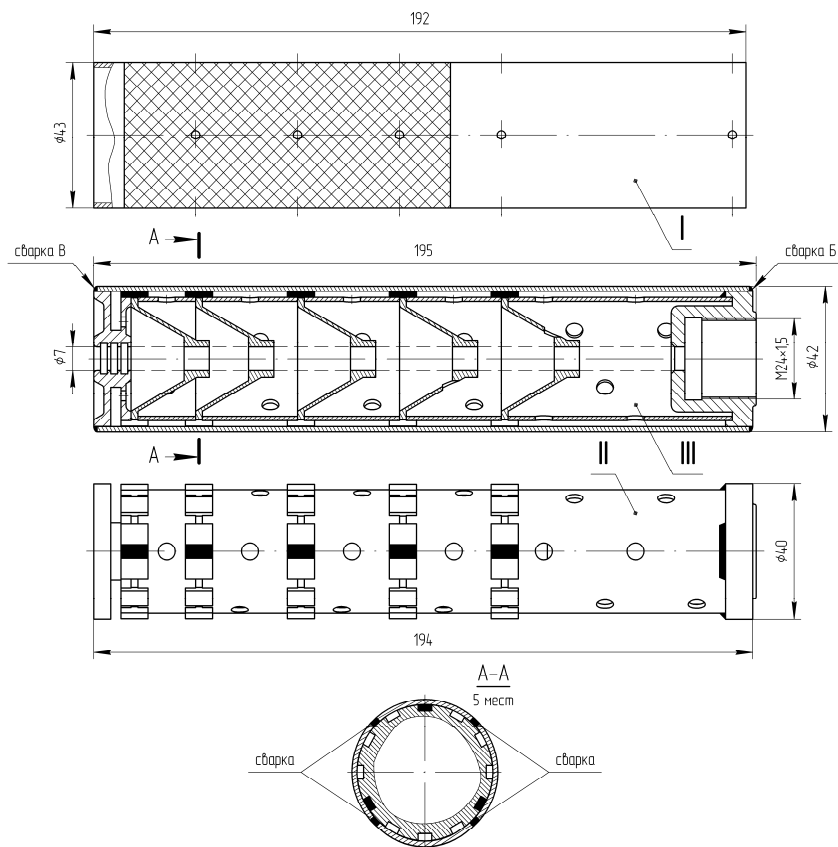


Рис. 6

сварные швы по торцевым плоскостям «Сварка Б» и «Сварка В». После остывания сборочно-сварочное приспособление с установленным в нем изделием изымают из сварочной камеры и визуально контролируют качество сварных



Рис. 7

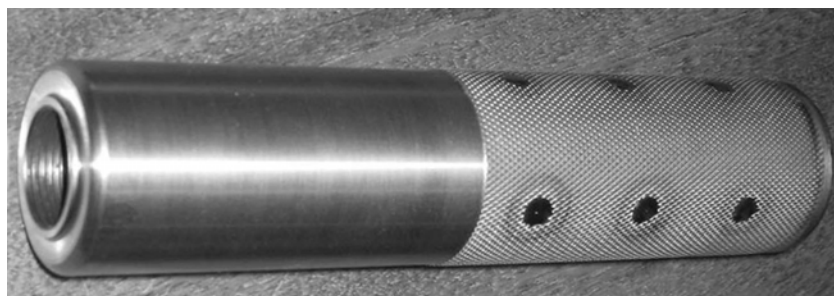


Рис. 8

швов согласно [47 – 50], для выявления дефектов используют лупу с десятикратным увеличением. Внешний вид изделия после сварки представлен на рис. 8.

После сварки изделия осуществляют его термообработку – вакуумный отжиг, который ведут в вакуумированной до 10^{-3} мм рт. ст. камере при режимах, указанных в разделе «Термообработка» настоящей статьи.

После проведения вакуумной термической обработки контролируют основные габаритные размеры устройства и закрепляют его в кулачковом патроне токарно-винторезного станка, после чего в штуцере нарезают резьбу М 24×1,5 согласно разделу "Нарезания резьбы" настоящей статьи.

В дальнейшем, используя эту резьбу как базовую, изделие в специальном приспособлении помещают в кулачковый патрон токарно-винторезного станка и протачивают до $\varnothing 42$ его наружную цилиндрическую поверхность в местах, свободных от сетчатой накатки, а также в сечениях по накатке, в которых выполнены сварные швы. С этой же установки выполняют сверление (развертывание) внутреннего проходного отверстия глушителя от исходного $\varnothing 6,5$ мм в конусах до $\varnothing 7,0$ мм.

После этого на специальном приспособлении-имитаторе проводят контроль соосности и углового отклонения (биения) продольной оси ПСУЗВ и канала ствола оружия.

В дальнейшем наружную поверхность изделия подвергают пескоструй-



Рис. 9

ной обработке и покрывают термостойкой краской.

Внешний вид полученного ПСУЗВ11Т.12-5,45 приведен на рис. 9.

ПСУЗВ-11Т.12-5,45 должен иметь следующие характеристики: длина – 195 мм, максимальный диаметр – 42 мм, масса – не более 450 г, радиальное биение в выходной плоскости глушителя – не более 0,3 мм, эффективность – 30 – 32 дБ.

Согласно ТУ У 88.057.004-98 Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов и ручных пулеметов Калашникова по Программе проведения исследований экспериментальных образцов приборов снижения уровня звука

выстрела (ПСУЗВ) для автомата Калашникова и их модификаций, ПИ-ПСУЗВ/АК-01-217 и в соответствии с Методикой проведения исследований эффективности снижения уровня звука выстрела экспериментальными образцами приборов ПСУЗВ в стрелковом автоматическом оружии (автоматы Калашникова АК и АКМ, МИ-ПСУЗВ-7/АК-01-217) от каждой партии из 10 приборов один испытывался натурной стрельбой сверхзвуковыми патронами с целью определения эффективности снижения уровня звука выстрела, точности и кучности стрельбы, ресурса эксплуатации.

Табл. 5

Оружие	ПСУЗВ
Автомат АК-74, кал. 5,45 мм	ПСУЗВ-01Т.12-5,45, ПСУЗВ-02Т.12-5,45, ПСУЗВ-03Т.13-5,45, ПСУЗВ-11Т.12-5,45
Автомат АКМ, кал. 7,62 мм	ПСУЗВ-04Т.13-7,62, ПСУЗВ-07Т.13-7,62, ПСУЗВ-12Т.12-7,62
Карабин Blaser, кал. .223	ПСУЗВ-11Т.12-5,56
Карабин Blaser R93, кал. 5,56 мм	ПСУЗ-07Т.12-5,56
Карабин M16, кал. 5,56 мм	ПСУЗВ-04Т.12-5,56, ПСУЗВ-11Т.12-5,45
Карабин Oberland OA-15, кал. 5,56 мм	ПСУЗВ-04Т.12-5,56
Карабин SAKO, кал. 5,56 мм	ПСУЗВ-11Т.12-5,56
Карабин Savage Arms Rem. .223, кал. 5,56 мм	ПСУЗВ-27Т.12-5,56
Карабин САЙГА МК-01, кал. 7,62 мм	ПСУЗВ-25Т.12-7,62
Карабин САЙГА МК-03, кал. 7,62 мм	ПСУЗ-08Т.12-7,62, ПСУЗВ-25Т.12-7,62
Карабин Blaser R93, кал. 7,62 мм	ПСУЗВ-03Т.12-7,62, ПСУЗ-08Т.12-7,62, ПСУЗВ-10Т.12-7,62, ПСУЗВ-19Т.12-7,62
Карабин Browning Bar, кал. 30-06	ПСУЗВ-19ТБ.12-7,62
Карабин ТИГР мод. SA02, кал. 7,62 мм	ПСУЗВ-01Т.13-7,62
Карабин Blaser, кал. 9,3 мм	ПСУЗВ-15Т.12-9,3, ПСУЗВ-26Т.12-9,3

Проведенные испытания показали, что разработанная конструкция и технология изготовления ПСУЗВ из титановых сплавов не ухудшают их характеристики по сравнению с ранее изготовленными глушителями из нержавеющей стали. При этом масса глушителя уменьшилась почти в два раза.

С использованием особенностей разработанной конструкции ПСУЗВ для автомата АКС-74У и технологии его изготовления была выполнена чертежно-техническая документация, проведены изготовление и успешная отработка конструкции глушителей из титановых сплавов для стрелкового оружия (табл. 5).

Таким образом, разработана конструкция и отработана технология изготовления ПСУЗВ из титановых сплавов для стрелкового оружия различного назначения и разных калибров, не уступающих по эффективности, живуче-

сти, точности и кучности стрельбы и габаритно-массовым характеристикам лучшим зарубежным образцам глушителей звука выстрела из титановых сплавов.

1. 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.
2. Paulson Alan C. Silencer. History and Performance. Volume 1. Sporting and tactical Silencer / Alan C. Paulson. – USA, Boulder, Colorado : Paladin Press, 1996. – 412 p.
3. Paulson Alan C. Silencer. History and Performance. Volume 2. GQB, Assault Rifle and Sniper Technology / Alan C. Paulson, N. R. Parker, Peter G. Kokalis – USA, Boulder, Colorado : Paladin Press, 2002. – 429 p.
4. Проспект фирмы AAC (Advanced Armament Corporation), 2009.
5. Проспект фирмы AAC (Advanced Armament Corporation), 2012.
6. Проспект фирмы AWC System Technology, 2012.
7. Проспект фирмы GEMTECH, 2012.
8. Проспект фирмы Sure Fire, 2011.
9. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.minissippianto.arms.com/titanq-3381m-and-lower-silencer-p-2512.html>.
10. Модернизация снайперской винтовки М24 // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 12. – С. 18.
11. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.cbclub.ru/index.php?showtopic.32147>.
12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.news.drom.ru/NISMO-Nissan-Skyline-GT-R-5268.html>.
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.cvetrommetall.ru/titanovyy-prokat>.
14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.lmetal.com/info/directories/titanium/tisplav>
15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.nauka.spb.ru/spravochniki/DemoMetal/3-17.html>.
16. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин, С. С. Ушков, И. Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн. – Л. : Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 248 с.
17. Колачев Б. А. Титановые сплавы разных стран. Справочник / Б. А. Колачев, И. С. Польшин, В. Д. Талалаев. – М. : ВИЛС, 2000. – 316 с.
18. Ильин А. А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, И. С. Польшин. – М. : ВИЛС, МАТИ, 2009. – 520 с.
19. Цветные металлы: алюминий, медь, титан. Справочник бизнесмена / В. А. Гнатуша, М. Ю. Григорак, Г. В. Жук и др. Под ред. В. А. Гнатуша. – К. : Внешторгиздат, 2007. – 397 с.
20. Пономарев Ю. И. Титановые сплавы в ракетной и космической технике / Ю. И. Пономарев // Титан. – 1998. – № 10. – С. 23 – 27.
21. Применение титановых сплавов для авиационных конструкций / А. Г. Братухин, Н. Ф. Аношкин, В. Н. Моисеев и др. // Титан. – 1993. – № 1. – С. 77 – 81.
22. Применение титана в народном хозяйстве / С. Г. Глазунов, С. Ф. Важенин, Г. Д. Зюков-Батырев, Я. Л. Ратнер. – Киев : Техніка, 1975. – 200 с.
23. Рачук В. С. Применение титановых сплавов в жидкостных ракетных двигателях [Электронный ресурс] / В. С. Рачук, А. И. Дмитренко. – Режим доступа к статье <http://engine/aviaport.ru/issues/63/page42/html>.
24. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.protown.ru/information/hidden/5615.html>.
25. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.grandpartner63.ru/assets/files/titan.pdf>.
26. Глушитель звука выстрела для автоматов подразделений специального назначения / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, Г. А. Поляков, А. Д. Скорик, Г. Л. Гунько, М. А. Якименко, В. И. Коваленко / Техническая механика. – 2012. – № 2. – С. 50 – 76.
27. Пат. на изобретение 93693 Украина, МПК7 F41A21/30, F41A17/00. Глушник звуку пострілу стрілецької зброї / Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Пугач Е. О., Скорик О. Д., Стрельников Г. О., Авдеев А. Н. – а 2009 13359 ; заявл. 20.12.2005 ; опубл. 25.08.2011, Бюл. №16. – 4 с.
28. ГОСТ 1907-91. Титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением. Марки.
29. ГОСТ 22897-86. Трубы бесшовные холодноформированные из сплавов на основе титана.
30. ГОСТ 26492-85. Прутки катаные из титана и титановых сплавов. Технические условия.
31. Примірна інструкція з охорони праці під час механічної обробки титанових сплавів [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.instructor.ucoz.net/publ/primirna>.
32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.4ne.ru/rezka-metallov/rezanie-titanovyh-splavov.html>.
33. Корягин С. И. Способы обработки материалов : Учебное пособие / С. И. Корягин, Н. В. Пименов, В. К. Худяков. – Калининград, Калининградский ун-т, 2000. – 448 с.
34. Кривоухов В. А. Обработка резанием титановых сплавов / В. А. Кривоухов, А. Д. Чубаров. – М. : Машиностроение, 1970. – 180 с.
35. Albert M. Обработка титана /M. Albert // Modern Mashine Shop. – 2010. – Июль. – С. 26 – 28.
36. Резніченко С. М. Прогнозування сил різання при точінні титанового сплаву BT-22 / С. М. Резніченко // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. – 2011. – Вип. 10. – С. 313 – 319.

37. Глазунов С. Г. Конструкционные титановые сплавы / С. Г. Глазунов, В. Н. Моисеев. – М. : Metallurgiya, 1974. – 368 с.
38. Братухин А. Г. Технология производства самолетных конструкций / А. Г. Братухин. – М. : Машиностроение, 1995. – 448 с.
39. Шифрин А. Ш. Обработка резанием коррозионностойких, жаропрочных и титановых сплавов и сталей / А. Ш. Шифрин, Л. М. Резницкий. – М. : Машиностроение, 1989. – 176 с.
40. Белоконь Б. С. Особенности разработки технологических процессов для изготовления дисков компрессоров из титановых сплавов / Б. С. Белоконь, А. И. Дерий, В. В. Третьяк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 1 (49). – С. 77 – 83.
41. Mey M. Fräsen im Greuzbereich / M. Mey // Werkstatt + Betrieb. – 2012. – № 3. – С. 40 – 42.
42. Albert M. Обработка титана / M. Albert // Modern Mashine Shop. – 2010. – Июль. – С. 72 – 75.
43. Rossman E. Очистка деталей из титана / E. Rossman // Cutting Tool Engineering. – 2009. – № 8. – С. 25.
44. ГОСТ 23249-38. Фрезы концевые для обработки деталей из высокопрочных сталей, титановых и легких сплавов на станках с программным управлением.
45. ГОСТ 10902-77. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Средняя серия. Основные размеры (DIN 338). Для нержавеющей сталей, легированных сталей, титана, серия 1016.
46. Гуревич С. М. Справочник по сварке цветных металлов / С. М. Гуревич. – Киев : Наукова думка, 1981. – 608 с.
47. ГОСТ Р ИСО 5817-2009. Сварка. Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением (исключая лучевые способы сварки). Уровни качества.
48. ДСТУ ISO 3834-2001. Вимоги до якості зварювання. Зварювання плавленням металевих матеріалів.
49. ДСТУ 3491-96. Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням. Класифікація, позначення та визначення.
50. ДСТУ ISO 17637-2003. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням.
51. ГОСТ 14771-69. Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах. Основные типы и конструктивные элементы.
52. Сварные соединения титановых сплавов / В. Н. Моисеев, Ф. Р. Куликов, Ю. Г. Кириллов и др. – М. : Metallurgiya, 1979. – 246 с.
53. ГОСТ 10157-73. Аргон газообразный жидкий.
54. Псарас Г. Г. Сварщик цветных металлов. Справ. пособие. – 2-е изд. / Г. Г. Псарас, А. И. Ежель. – Донецк : Донбасс, 1985. – 174 с.
55. ГОСТ 23949-80. Электроды вольфрамовые сварочные неплавящиеся. Технические условия.
56. ГОСТ 27265-87 Проволока сварочная из титана и титановых сплавов. Технические условия.
57. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу <http://www.svarka.ukrtechno.info/index.php?mod-text&uitxt=414&prim>.
58. Сапиро Д. С. Справочник сварщика. Пособие для сварщиков, мастеров, технологов, конструкторов. – 2-е изд. / Д. С. Сапиро. – Донецк : Донбасс, 1978. – 228 с.
59. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения / В. А. Винокуров. – М. : Машиностроение, 1968. – 236 с.
60. Лясоцкая В. С. Термическая обработка сварных соединений титановых сплавов / В. С. Лясоцкая. – М. : Экомет, 2003. – 352 с.
61. Стандарт ЦКБА 018-2007. Арматура трубопроводная. Термическая обработка заготовок и деталей из титана и титановых сплавов. Типовой технологический процесс [Электронный ресурс]. – НПФ "ЦКБА", 2007. – 9 с. – Режим доступа к ресурсу <http://www.opengost.ru/8213-st-ckba-018-2007-armatura-truboprovodnaya-termicheskaya-obrabotka-detaley-iz-titana-i-titanovyh-splavov.html>.

Институт технической механики
НАН Украины и ГКА Украины,
Днепропетровск

Получено 28.02.13,
в окончательном варианте 04.03.13

ГП ПО «Южный машиностроительный завод»
им. А.М. Макарова,
Днепропетровск