

ней. Это позволяло ему обходиться без сложного математического аппарата и достигать своей цели путём простых и элементарных рассуждений. Это умение было тесно связано с его любовью к экспериментам, которые позволяли ему непосредственно наблюдать работу конструкции и проверять правильность основных предпосылок создаваемой им теории. Д. И. Журавский любил свою родину и высоко ставил обязанности инженера. В одной из речей он говорил: "Чтобы сокровища, разбросанные на громадном пространстве, могли сделаться действительным достоянием народа, - чтобы достигающее 100 миллионов население могло слиться в одну могучую массу, нужно много труда со стороны инженеров, требующего много знания и большой энергии. Да не устроят нас ни горы с вершинами, одетыми снегом и облаками, ни глубокие и широкие реки, ни скалы, ни тундры!".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труды Д. И. Журавского: О мостах раскосной системы Гау, 1855; Замечание относительно сопротивления бруса, подверженного силе, нормальной к его длине;
2. Мемуар в Annales des Ponts et Chaussees, 1856. О Д. И. Журавском: Журавский Д. И., Спб., 1897
3. Н. Н. Богданов. Люди русской науки, кн. 4 — Техника, М., 1965.
4. Чернышевский Н. Г., Полн. собр. соч., т. 3, М. 1947, с. 387-420
5. Ракчеев Е. Н. Дмитрий Иванович Журавский, 1821-1891. М., 1984.

УДК 621.791.052

СВАРКА МЕТАЛЛА, ПЛАСТИКА И ЖИВЫХ ТКАНЕЙ – СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ

Кузменко О.А., студентка гр. ПГС-301, Корохов В.Г., к.т.н., профессор, Чечевич Л.А., инженер.

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В настоящей статье приводится анализ и сопоставление способов сварки металла, пластика и живых тканей, существенно различающихся между собой аппаратурно-режимными особенностями и результативностью процессов, что объясняется различием физико-химических свойств свариваемых материалов и их реакцией на высокую температуру, на воздействие электрического тока. Рассмотрены особенности сварных швов, их прочность, герметичность, а также последствия сварки оказываемые на соединяемые органы живой ткани. Представленная систематизированная информация о применении сварки для соединения различных материалов, о применяемом сварочном оборудовании и режимах его работы позволит ознакомить интересующихся специалистов с возможностями сварки широкого диапазона материалов, корректировки используемых режимов, а также применения сварки для иных материалов, ранее не соединяемых таким способом. Указано, что сварка живых тканей не только облегчает работу хирурга, но и сокращает продолжительность операций и реабилитации пациента.

Металл, пластики, ткань, сварка, оборудование, частота, напряжение.

ВВЕДЕНИЕ

Сварка традиционно относилась к получению неразъемных соединений из металла, такое соединение осуществляется путем нагрева до оплавления краев заготовок или же их нагревом до пластичного состояния с последующим сдавливанием – осадной. Препятствием к надежному соединению металлов была и сохраняется необходимость высокой температуры нагрева, микронеровности соединяемых поверхностей изделий, наличие на них загрязнений и пленок окислов, а также вероятность активного соединения расплавленного металла шва с газами окружающего воздуха [1]. Выработанные столетиями способы и режимы сварки металлов оказываются неприемлемыми в неизменном виде для сварки широко применяемых в настоящее время пластиков и, тем более, для сварки

биологических тканей. Вместе с тем небольшая продолжительность процесса сварки, сравнительно невысокая трудоемкость, достаточная прочность и герметичность полученных швов, рассматриваются как побуждающие факторы для поиска и отработки способов и режимов сварки пластиков и биологических тканей. Особенно проблемна сварка живых тканей.

В этой области разработаны новые технологические процессы соединения и разъединения биологических тканей живых существ, а впоследствии и человека. Исследования и разработки выполнены специалистами института электросварки им. Е.О.Патона Академии наук Украины, исследовательского центра «Микрохирургии рук» США центральным институтом травматологии и в МГТУ им. Н.Э.Баумана.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Промышленное производство труб из полимерных материалов началось в мире в 50-х годах двадцатого века [2], [3]. Эти трубы быстро и существенно потеснили использование чугунных, стальных, асбоцементных, железобетонных и керамических изделий, причем их производство и применение ежегодно увеличивается. Основными преимуществами трубопроводов из полимерных материалов являются высокая химическая стойкость, приемлемая прочность под воздействием нагрузок, в том числе, и транспортируемой среды, способность к значительным деформациям без разрушения при нагревании, увеличенное сопротивление к распространению трещин. Склонность полимеров к некоторому старению под воздействием температуры и нагрузок окупается перечисленными достоинствами. В последние годы трубы для транспортировании газа изготавливают в основном из полиэтилена [4], диапазон рабочих температур которого, вплоть до морозостойкости, находится в пределах от -40°C до $+90^{\circ}\text{C}$. Трубы, изготавливаемые из пропилена [5], [6], [7] сохраняют свое качество при транспортировании питьевой и горячей воды, нагретой до 100°C , причем функциональная надежность их сохраняется до 50 лет и они могут использоваться в жилых помещениях. Опыты, проведенные по сварке полиэтилена [8], [9] показали отсутствие в нем усталостных напряжений, что в значительной мере явилось обнадеживающим показателем для поиска оптимальных методов и режимов сварки применительно и к другим пластиковым материалам, с иными физико-механическими свойствами, толщиной соединяемых элементов и условиями эксплуатации конструкций, а также к поиску способов сварки живых тканей.

Техническим примером, разрабатываемым методам сварки для неметаллических материалов, является разнообразие способов сварки стали, которые совершенствовались на протяжении столетий. Из истории известно, что первые образцы сварки стальных цепей, якорей, плугов осуществлялись кузнечным способом, по сути, это была контактная сварка, которая в настоящее время трансформировалась в контактную электросварку, выполняемую как совокупность точек, в виде сварочной дорожки или торцевого соединения стержней. При контактной электросварке стали кромки соединяемых заготовок нагреваются до пластичного состояния коротким замыканием соприкасающихся поверхностей изделий при пропускании через них электрического тока. Последующим сдавливанием соединяемых заготовок удается разрушить и выдавить в стороны ранее присутствующей пленки окислов металла и сблизить поверхности заготовок до расстояния межатомного взаимодействия [10], [11]. После охлаждения такого соединения оно превращается в единой целое.

В настоящее время в технике наиболее широко используется сварка сталей плавлением, при которой температура источника тепла должна быть в 2,5 – 3 раза выше температуры плавления этого металла. При электродуговой сварке напряжение электрического тока находится в пределах 30...50 В, а сила тока назначается в зависимости от толщины свариваемых изделий и бывает в пределах от 100 А до 300...400 А. Причем, расплавленный металл образующегося шва необходимо защищать от соединения с кислородом и другими газами воздуха. Это достигается использованием плавящихся электродов с особым покрытием, выделяющим дым, а при сварке цветных металлов такой защиты недостаточно и необходимость более надежной защиты достигается

использованием инертных газов, которые нагнетаются в зону сварки [1], [12].

Другой способ сварки плавлением осуществляется путем нагрева кромок металла газовым пламенем при несколько меньшей температуре источника тепла и с защитой металла этим же пламенем [1],[13].

Сварку тонкой металлической фольги в ряде случаев целесообразно выполнять ультразвуком при котором колеблющийся инструмент нагревают тонкие пластинки до пластичного состояния, соединяя их контактным способом [1], [14], [15].

Необходимость поиска способов режимов и аппаратного обеспечения сварки неметаллических материалов постоянно возрастает. Это обусловлено большим количеством соединений таких материалов используемых в технике, кратковременностью сварочных процессов, надежностью соединений. А в медицине необходимость такого поиска вместе с тем обусловлена еще и возможностью сокращения продолжительности операций и уменьшением болевых ощущений пациентов [16]. Однако известные успехи в сварке металлов еще не позволяют без изменений применить найденные методы и режимы для соединения пластиковых изделий и биологических тканей.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информация о применении сварки для соединения различных материалов, о применяемом сварочном оборудовании и режимах его работы позволит ознакомить интересующихся специалистов с возможностями сварки широкого диапазона материалов, корректировки используемых режимов, а также применения сварки для иных материалов, ранее не соединяемых таким способом. Сварка живых тканей не только облегчает работу хирурга, но и сокращает продолжительность операций и реабилитации пациента. Анализ способов, режимов и результатов сварки металла, пластиков, растительных и биологических тканей позволит обосновано подойти к отбору приемлемых признаков сварки в новых направлениях определяемых свойствами материалов и прогнозировать возможность изменения свойств под воздействием температуры и электрического тока.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика исследований основана на систематизации и анализе способов и результатов сварки прототипов, которые по некоторым физико-механическим свойствам приближаются к свойствам пластиков и биологических тканей. Использование ступенчатого подхода к анализу способов, режимов и результатов сварки в последовательности: от металлов – к пластикам, а от них – к растительным, биологическим неживым и живым тканям позволяет дифференцированно подойти к анализу и отбору приемлемых признаков сварки для использования их в новых направлениях, определяемых свойствами материалов и возможном изменении свойств под воздействием температуры и электрического тока.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Используя в качестве прототипа газовую сварку стали, получены хорошие качественные показатели шва при стыковой сварке пластиков с использованием газотеплоносителя температурой с 280...300°C [17]. Это существенно отличает такую стыковую сварку пластика от сварки стали кислородно-ацетиленовым пламенем при температуре 3120...3150°C.

В развитие этой технологии сварки пластиков путем расплавления их газотеплоносителем, разработаны и используются другие способы сварки большей производительности и отличающиеся значительным удобством и простотой выполнения всех операций сварочного процесса. Это более технологичные способы сварки, в которых удачно используются особенности физико-механических свойств пластиков, т.е. способы, которые стало возможным разработать именно для этих материалов [16], [18], [19].

Принципиально новым способом сварки, который возможен только для пластических трубопроводов, является раструбная сварка, применяемая для систем водоснабжения и отопления [8]. При этом способе сварки нагревают до пластичного состояния наружную поверхность конца трубы и внутреннюю поверхность соединяемой с ней муфты или фитинга. Нагрев охватываемой и охватывающей поверхностей осуществляют горячим

закладным электроинструментом. При сборке узла трубу вставляют в муфту (фитинг) с некоторым натягом. При этом происходит смятие и соединение нагретых вязко-пластичных сред и, после охлаждения, образуется прочно-плотное соединение трубопровода.

Такой способ сварки пластиковых трубопроводов, в первом приближении, подобен контактной сварке металлов давлением [20], но он существенно отличается выполнением необходимого размерного припуска сопрягаемых элементов для создания натяга, и также отличается значительно меньшей температурой нагрева пластиков, т.е. в 3 – 3,5 раза меньше чем температура нагрева стали.

Другой способ стыковой сварки пластиковых трубопроводов и светопрозрачных строительных конструкций из фасонных погонажных изделий лишь частично напоминает сварку металлических заготовок встык. Этот способ состоит в нагреве соединяемых торцов изделий до вязко-пластичного состояния закладным плоским горячим электроинструментом. Такая стыковая сварка, применяется для газовых трубопроводов среднего и значительного диаметров (63, 80, 100 мм), а также для фасонных заготовок – оконных рам и дверей. Этот способ сварки выполняется с первоначальным использованием торцевателя, который придает соединяемым торцам изделий плоскостность и параллельность. Затем торцы нагревают закладным инструментом до вязко-пластичного состояния при температуре около 280 °С. После этого заготовки сдавливают гидравлическим устройством, сминая и соединяя таким образом их вязко-пластичные торцы. В результате охлаждения образуется прочное и плотное соединение трубопровода или светопрозрачной строительной конструкции [21].

Общность этого способа сварки пластиков со стыковой сваркой стали, например, арматурных стержней, состоит в нагреве торцов заготовок до пластичного состояния и соединении их осадкой.

Различие же между ними – в нескольких особенностях процесса:

- сталь нагревают коротким замыканием, пропускающим через металл электрический ток, а пластиковые изделия нагревают закладным горячим инструментом;

- температура нагрева этих материалов различна – сталь до 1100 °С – 1200 °С, а пластики до 250 °С – 280 °С;

- при соединении контактной сваркой металлических заготовок нет необходимости в использовании торцевателя, так как по мере размягчения при нагревании некоторых неровностей металла, они снимаются силами осадки заготовок, при этом увеличивается площадь соприкосновения торцов заготовок; применение торцевателя (режущего инструмента) для подготовки пластиков к сварке – обязательно, так как только при условии параллельности торцов заготовок они будут полностью соприкасаться с нагревателем и одинаково разогреваться до пластичного состояния, образуя надежное сварное соединение.

Необходимость быстрого и надежного соединения пластиковых трубопроводов обусловила дальнейшее совершенствование способов стыковой сварки. Принципиально новым решением стал способ электромуфтовой сварки [22], которая начала широко применяться для соединения пластиковых трубопроводов диаметрами от 30 мм до 100 мм и более. Этот способ сварки частично позаимствовал у сварки металлов необходимость расплавления участков заготовок, подлежащих соединению, а способ расплавления и применяемое оборудование отличаются принципиальной новизной и оригинальностью.

Электромуфтовая сварка осуществляется с помощью пластиковой муфты, которую надевают на концы соединяемых труб. Внутри этой муфты расположена электрическая спираль, через нее пропускают электрический ток, нагревающий ее внутреннюю поверхность и концы труб до оплавления на определенную толщину. Расплавленные вязко-пластичные среды муфты и концов труб сливаясь, соединяются воедино, причем спираль остается в муфтовом соединении. После охлаждения расплавленного пластика образуется надежное прочно-плотное соединение труб с муфтой.

Общность этого способа сварки со сваркой металла состоит в расплавлении участков соединяемых заготовок. Для металлов это осуществляется электрической дугой, газовым пламенем или лучом лазера. Применение же неудаляемой электрической спирали,

встроенной в муфту, которая быстро и равномерно расплавляет охватываемую и охватываемую поверхности возможно только для соединения пластиковых труб. Этот способ отличается малой трудоемкостью процесса, простотой и надежностью соединения газопроводов.

Возможность сварки металлической фольги с использованием ультразвуковых колебаний инструмента послужила примером для поиска режимных параметров соединения пластиковых изделий толщиной менее 1 мм и полиэтиленовых пленок, как между собой, так и с различными металлами. Контактная ультразвуковая сварка применена для соединений полимеров с низким модулем упругости и большим коэффициентом затухания колебаний. Так соединяют внахлестку мягкие пластмассы – полиэтилен, полипропилен, пленки, толщина которых находится в пределах от 0,02 мм до 5 мм. Оптимальная частота колебаний инструмента при такой сварке около 22 кГц, что позволяет быстро (за 3 секунды) выполнить точечное соединение. Корректировка режима сварки осуществляется по показателям прочности сварного соединения, его герметичности и способности к деформациям. В отличие от ультразвуковой сварки металлов при соединении пластиков используется меньшая частота колебаний и обеспечивается возможность соединения разнородных материалов.

Рассмотренные способы сварки пластиков и технология выполнения этих операций показывают их существенную специфичность и отличия от сварки металлов, что обуславливает и особенности дефектоскопии сварных швов из пластиков. Осуществляется несколько способов дефектоскопического контроля сварных швов пластиков, которые различаются глубиной достоверности и трудоемкостью. В зависимости от условий эксплуатации и количества выполнения сварных швов соединяющих пластиковые изделия, назначаются различные способы дефектоскопии. Это могут быть неразрушающие или разрушающие методы контроля швов. Неразрушающий контроль выполняют визуальным осмотром швов, ультразвуковой дефектоскопией, пневматическими или гидравлическими испытаниями.

Поскольку, для стыковой сварки пластиковых труб наиболее часто используется плоский закладной нагревательный инструмент, то сварные швы, в отличие от стальных швов, имеют конфигурацию не в виде одного валика, а в виде примыкающих друг к другу двух параллельно расположенных валиков. Визуальный контроль таких швов несет в себе большую информацию об их качестве, что позволяет в ряде случаев отказаться от инструментальной дефектоскопии. Например, качественное и надежное соединение двухваликовым швом подтверждается при визуальном контроле симметричностью и одинаковой конфигурацией поперечного сечения каждого валика. Отклонения сверх допускаемых условий достаточно легко определяются даже при осмотре сварных швов.

Разрушающим испытаниям сварных швов, пластмассовых изделий подвергают специально подготовленные образцы сварных элементов конструкций для уточнения режимов сварки или причин образования однотипных повторяющихся дефектов.

При сварке живых тканей предъявляются специфические требования к результативности их соединений и вероятным последствиям воздействия температуры и электрического тока на ткани различных органов, а также возникает необходимость создания особых инструментов обеспечивающих выполнения этого процесса [16].

Из выше рассмотренного видно, что способы сварки металлов, пластиков и тканых материалов сопряжены с их расплавлением при температурах превышающих сотни и даже тысячи градусов Цельсия, или с нагревом этих материалов до вязко-пластичного состояния и последующим сильным сдавливанием, что неприемлемо для соединения живых тканей. Такая неприемственность способа соединения обусловлена, прежде всего, необходимостью сохранения физиологических функций свариваемой ткани и сохранением жизнедеятельности прооперированных органов [24].

Поэтому необходимо, чтобы:

- тепловое вложение не влекло за собой осложнений и кровотечения;
- не происходило ожогов и омертвление тканей;

– было быстрое и легкое заживление прооперированного органа – не дольше чем при традиционных способах соединения;

– обеспечивалась достаточная прочность сварных соединений, а в ряде случаев – и их герметичность.

С целью изучения возможности такой сварки учеными Украины, России и США выполнено большое количество теоретических и экспериментальных исследований, вначале на неживых тканях, затем на животных (крысах, кроликах, свиньях, собаках). После приближения к положительным результатам и их тщательной отработки, найдены способы соединения сваркой живых тканей человека [25].

Образование сварных соединений базируется на эффекте электротермической денатурации белковых молекул (изменение физических и механических свойств белка под действием нагревания). Такое соединение ткани осуществляется токами высокой частоты до 440 кГц. Создана и уже успешно применяется система автоматического управления процессом сварки, которой удобен для хирурга. Сварочный комплекс состоит из энергетического блока с источником высокочастотного питания, системы управления с программным обеспечением, сборочных приспособлений и специальных медицинских инструментов.

Медицинские сварочные инструменты представляют собой систему с биполярными элементами – электродами для контактной электросварки. Это пинцеты, зажимы, лапораскопы.

Соединяемые слои ткани, при помощи сварочного хирургического инструмента, вводятся в соприкосновение своими поверхностными участками, далее хирург с помощью электродов сварочного инструмента сжимает свариваемый участок ткани и включает источник высококачественного сварного тока. Между соединяемыми тканями происходит процесс денатурации белковых молекул. После автоматического выполнения сварки и программного отключения энергии, сжимаемые ткани освобождают от соединяемых электродов. Далее такой процесс точечного соединения ткани повторяется до полного сшивания сварным швом оперируемого органа или закрытия раны. В процессе такого соединения обеспечивается минимальное высокочастотное тепловое вложение, в тоже время, достаточное для образования соединения. Только автоматическим управлением процессом с сигналами обратной связи удастся получить образование надежного соединения без негативных последствий. В данном случае, велико значение не только высокочастотного электрического тока, но и системы автоматического управления таким процессом.

При операции, проводимой на внутренних органах с использованием сварки, анестезия применяется [26], [27].

За счет миниатюризации хирургических сварочных инструментов и изображения оперируемого участка на мониторе компьютера, операцию со сваркой необходимых мест, возможно, проводить даже лаброскопически, т.е. таким образом, что через небольшое отверстие разреза вводится сварочный биполярный инструмент в виде зажима или пинцета для контактной сварки. В этом случае компьютер позволяет не только получить на мониторе изображение оперируемого органа и выполняемой сварки, но он управляет источником электропитания и адаптирует процесс сварки к конкретным свойствам тканей соединяемых участков разреза.

Таким образом, выполняются операции не только на срачиваемых открытых тканях, а и на внутренних органах, и даже на кишечнике с обеспечением не только прочного, но и герметичного соединения. При использовании сварки вместо традиционного сшивания шва сокращаются продолжительность операции и кровопотери, происходит достаточно быстрая регенерация тканей и восстановление жизнедеятельности органов.

Помимо, такого способа соединения, существует и ультразвуковая сварка мягких биологических тканей, а также система соединения костных тканей.

ВЫВОДЫ

1. Представленная систематизированная информация о применении сварки для

соединения различных материалов, о применяемом сварочном оборудовании и режимах его работы позволяет ознакомить интересующихся специалистов с возможностями сварки широкого диапазона материалов, корректировки используемых режимов, а также применения сварки для иных материалов, ранее не соединяемых таким способом. Сварка живых тканей не только облегчает работу хирурга, но и сокращает продолжительность операций и реабилитации пациента.

2. Техническим примером методам сварки для неметаллических материалов, является разнообразие способов сварки стали, первых образцов изделий из которой выполнялись кузнечным способом, в дальнейшем трансформировавшимся в контактную электросварку в виде совокупности точек, сварочной дорожки или торцевого соединения стержней.

3. Газовая сварка стали использована как пример для стыковой сварки пластиков с использованием газотеплоносителя, но при температуре 280...300°C. Это существенно отличает сварку пластика от сварки стали кислородно-ацетиленовым пламенем при температуре 3120...3150°C.

4. Новым способом сварки, возможным только для пластиковых трубопроводов, является раструбная сварка, при которой горячим закладным электроинструментом нагревают до пластичного состояния наружную поверхность конца трубы и внутреннюю поверхность соединяемой с ней муфты или фитинга. Смятием при сборке и соединении нагретых вязко-пластичных сред образуют после охлаждения прочно-плотное соединение трубопровода.

5. Принципиально новым способом соединения пластиковых трубопроводов стала электромуфтовая сварка с помощью пластиковой муфты, которую надевают на концы соединяемых труб. Через неудаляемую электрическую спираль, расположенную внутри этой муфты, пропускают электрический ток, нагревающий ее внутреннюю поверхность и концы труб до оплавления. Расплавленные вязко-пластичные среды муфты и концов труб сливаясь, соединяются воедино, образуя после охлаждения надежное прочно-плотное соединение.

6. К сварке живых тканей предъявляются специфические требования, определяющие результативность их соединения с отсутствием последствий воздействия температуры и электрического тока на ткани различных органов.

Разработанный специалистами института электросварки им. Е.О.Патона Академии наук Украины, МГТУ им. Н.Э.Баумана. и исследовательского центра «Микрохирургии рук» США, способ сварки базируется на эффекте электротермической денатурации белковых молекул свариваемых живых тканей, что осуществляется соединением разреза биполярными электродами контактной сварки специальных пинцетов и зажимов, и пропусканем через них электрического высокочастотного тока до 440 кГц. Компьютерное управление процессом сварки адаптирует его к конкретным свойствам ткани соединяемых участков разреза. Таким образом, сваривают ткани не только открытых разрезов, а и внутренних органов, включая кишечник с обеспечением прочного и герметичного соединения. При этом, сокращаются продолжительность операции и кровопотери, происходит достаточно быстрая регенерация тканей и восстановление жизнедеятельности органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патон Б.Е. Энциклопедия машиностроения. Т-III-4. Технология сварки, пайки и резки. Машиностроение, 2006г., 768 стр.

2. Инженерные сети из полимерных материалов. № 28, 2010г. Особенности сооружения полиэтиленовых трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях. Д.А.Виноградов. 22-25стр.

3. Инженерные сети из полимерных материалов. № 28, 2010г. Вітчизняний ринок терморезисторних з'єднань у полоні імпорту, чи Модерне виробництво фітінгів made in Ukraine. М. Шевчук. 20-21с.

4. СНиП 3.05.02. и СП 42-101 Контроль качества сварные соединений полиэтиленовых газопроводов.

5. В.Е. Бухин. Состояние нормативной базы обеспечения производства и применения труб из полимерных материалов: Т и Э, 2007г. № 1, с 2-3.
6. В.С. Ромейко, В.Е. Бухин и др. Трубы и детали трубопроводов из полимерных материалов. М: ТОО «Издательство ВНИИМП», 2002г., 132стр.
7. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена.
8. Костенко Е.М. Пособие по строительству газопроводов из неметаллических труб. Настольная книга сварщика пластмасс. Основа, 2005г., 272 стр.
9. К вопросу дефектоскопии пластмассовых изделий. Корохов В.Г., Чечевич Л.А, 7 страниц. «Энергия», том 13С, Люблин, 2011г.
10. Патон Б.Е. Энциклопедия машиностроения. Т-IV-6. Оборудование для сварки. Москва, Машиностроение, 1999г.
11. Панов В.С., Чувилин А.М. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. Учебное пособие для ВУЗов. МИССИС, 2001г.
12. Квагинидзе В.С. Технология металлов и сварка. Справочник. Горная книга, 2004г., 566 стр.
13. Сварка и резка в промышленном строительстве: В2; т/ Б.Д.Малышев и др. Под ред. Б.Ю.Малышева – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1989г. – Т1-590 стр. (Справочник строителя)
14. Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. Машиностроение. 1988г.
15. Чебан В.А. Сварочные работы: учебное пособие. Феникс, 2011г.
16. В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. Источники питания для сварки: учебник для ВУЗов. М.: Айрис-Пресс, 2007г., 379 стр.
17. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины. Справочник. Дж. Уайт, Д.Чой. Перевод с англ., 2006г., 240 стр.
18. А.Н. Шестопа, Ю.С. Васильев, Э.А. Минеев и др. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс. Под общ. ред. А.Н. Шестопа. – К.: Техника, 1986г., 192 стр.
19. Д.А. Уиллоуби и др. Полимерные трубы и трубопроводы. Справочник. Перевод с англ. Профессия, 2010г., 488 стр.
20. Солнцев Ю.П. Металлы и сплавы. Справочник. Профессional, 2003г., 1066 стр.
21. Редакционная группа. Универсальный справочник прораба. Стройинформ, 2008г., 1086 стр.
22. Оборудование, механизация и автоматизация сварочных процессов. Академия, 2010г., 256 стр.
23. Особенности дефектоскопии сварных швов пластиковых труб. Корохов В.Г., Чечевич Л.А., 7 страниц. Сборник научных трудов. Выпуск № 3, часть 1. Симферополь, НАПКС, 2011г.
24. В.И.Маслов. Малая хирургия. БПВ, ISBN: 5-225-00075-4, 1988г., 208 стр.
25. Золлингер Р.М., Атлас хирургических операций. ГЭОТАР – Медиа, 2009г., 480 стр.
26. «Патоновский шов в хирургии». Лилия Суржик, «Зеркало недели», №1, 05 января 2002г., Киев.
27. «Хирурги-демиурги с навыками сварщиков». Александр Пальчун, «Еженедельник 2000» №51 (490), 18-24 декабря, 2009г.

УДК 624.072.2

КОМБИНИРОВАННЫЕ СОСТАВНЫЕ ДВУТАВРОВЫЕ БАЛКИ С ВОЛНИСТОЙ СТЕНКОЙ

Лютов Л.В., студент гр. ПГС-531

Национальная академия природоохранного и курортного строительства