DOI: 10.17117/ns.2015.03.040

Поступила (Received): 17.01.2015

<http://ucom.ru/doc/ns.2015.03.040.pdf>

vni@dvfu.ru

Стаценко В.Н., Бернавская М.В. Разработка экспериментального комплекса для формирования профессиональной компетентности специалистов направления «Машиностроение»

**Statsenko V.N., Bernavskaya M.V.
Development of experimental complex for formation of
professional competence of "Mechanical engineering" specialists**

Для формирования профессиональной компетенции будущих инженеров-машиностроителей преподаватели Инженерной школы Дальневосточного федерального университета создали и внедрили в учебный процесс творческое экспериментальное задание для бакалавров: им предлагается самостоятельно разрабатывать, проектировать и проводить исследования лабораторных стендов. В соответствии с заданиями на выпускные квалификационные работы студентами были спроектированы, изготовлены и проведены испытания стендов для лабораторных работ по точечной холодной сварке пластичных металлов; стыковой сварке трением стержней; диффузионной сварке пластин; по сварке металлов в контролируемой атмосфере. При обработке результатов измерений и исследования макро- и микрошлифов получены данные по прочности соединений, их структуре, а также по оптимальным значениям режимов сварки. В данной статье предлагается обзор наиболее интересных испытательных стендов

Ключевые слова: профессиональная компетентность, режимы сварки

Стаценко Владимир Николаевич
Доктор технических наук, профессор
Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, ул. Суханова, 8

Бернавская Майя Владимировна
Кандидат педагогических наук, доцент
Санкт-Петербургский государственный торгово-экономический университет
г. Санкт-Петербург, ул. Новороссийская, 50

In order to form the professional competence of future engineers, the teachers of School of Engineering of the Far Eastern Federal University have devised and included to the training process an experimental creative task for bachelors: the latter are encouraged to develop and design the laboratory stands without assistance and perform researches on them. In accordance with the requirements imposed on the graduate qualification works, the students have designed, manufactured, and tested stands for laboratory works dealing with: spot cold welding of ductile metals, rod friction butt welding, diffusion welding of plates, and welding of metals in controlled atmosphere. The results of the measurement and studies of the macro and micro sections being processed, the data on the strength of the compounds, those of their structure as well as the best values of welding conditions have been obtained. The article provides an overview of the most interesting test stands

Key words: professional competence, welding modes

Statsenko Vladimir Nikolaevich
Doctor of Engineering Sciences, Professor
Far Eastern federal university
Vladivostok, Sukhanov st., 8

Bernavskaya Maya Vladimirovna
Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Saint-Petersburg state university of trade and economics
Saint-Petersburg, Novorossiyskaya st., 50

Введение (Introduction)

В настоящее время повсеместно проводятся различные исследования, изучающие проблемы соответствия уровня подготовки бакалавров и магистров растущим общественным и индивидуальным потребностям в квалифицированных специалистах с высшим профессиональным образованием.

Основные требования, предъявляемые к выпускникам – это, в основном, требования, предъявляемые к их профессиональной компетенции, поэтому необходимо определить оптимальные организационно-педагогические условия, способствующие эффективному формированию профессиональной компетентности выпускника вуза. Выпускник, должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду профессиональной деятельности.

Для формирования профессиональной компетентности бакалавра в учебном процессе в высших учебных заведениях широко используются различные формы учебного процесса, а именно практические и лабораторные занятия. Лабораторные работы играют большую роль в учебном процессе по многим блокам общепрофессиональных, естественнонаучных и профессиональных дисциплин. Они являются одной из форм учебных занятий и одним из практических методов обучения, в котором учебные цели достигаются при постановке и проведении бакалаврами экспериментов, опытов, исследований с использованием специального оборудования, приборов, измерительных инструментов и других технических приспособлений.

Для формирования профессиональной компетенции бакалавров в рамках экспериментальной работы нами было разработано и внедрено в учебный процесс творческое экспериментальное задание для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.01 «Машиностроение». При освоении дисциплины «Специальные методы сварки» бакалаврам предлагалось самостоятельно разрабатывать, проектировать и устанавливать лабораторные стенды, проводить испытания и исследования процессов соединения материалов, обрабатывать полученные результаты. Часто в процессе изготовления стендов производилась их модернизация, в результате чего получали готовый стенд с более высокими техническими характеристиками, чем представленные в техническом задании на проектирование. В рамках выполнения выпускных квалификационных работ студентам было предложено изготовить ряд экспериментальных стендов, которые затем широко применяются для практических и лабораторных работ.

Материалы и методы (Materials and Methods)

Стенд для холодной сварки

Холодная сварка производится за счет только механического (сжимающего) воздействия на свариваемые материалы.

Стенд предназначен для изучения и исследования точечной холодной сварки пластичных металлов – алюминия, меди и др. Особенность стенда – применение гидравлического домкрата грузоподъемностью 10 т для создания усилия сжатия пуансонов, с помощью которых получают точечное соединение. Схема и внешний вид стенда представлена на рис. 1.

Основанием станда является станина 1, на ее посадочное место установлен гидравлический домкрат 2 с вмонтированным в него манометром 3 (давлением до 600 кг/см²) для измерения давления гидравлической жидкости, по краям станины закреплены стойки 4, на которые сверху установлена перекладина 5, зафиксированная гайками 6.

На выдвижном штоке домкрата установлен стакан 7, на котором закреплен толкатель 8, а сверху в посадочное место помещен нижний пуансон 9. Верхний пуансон 10 помещен над свариваемыми пластинами 11 и упирается в перекладину 5. Пластины 11 зажаты болтовым соединением между пластинами кондуктора 12 (нижняя зафиксирована в стойках 4).

Для измерения суммарной глубины вдавливания пуансонов на перекладине 5 закреплен индикатор линейных перемещений с ценой деления 0,01 мм. Его измерительный шток опирается на толкатель 8.

Измерение усилия воздействия домкрата на пуансоны производится методом измерения давления гидравлической жидкости в домкрате с помощью манометра 3. Усилие сжатия определяется по измеренному давлению P (кг/см²) и измеренному диаметру поршня домкрата $d = 40$ мм.

$$F = P \cdot S = P \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 12,56 \cdot P, \text{ кг.}$$

Рис. 1. Схема и внешний вид станда для холодной сварки

Испытания станда проводились на алюминиевых пластинах толщиной 2,5 и 5 мм и на медных пластинах толщиной 2 и 6 мм. Глубины вдавливания пуансонов измкнялась в следующих относительных значениях:

$$\delta = \frac{h}{h_0} \cdot 100\% = 50, 65, 75, 85, 95, 100 \%,$$

где h – глубина вдавливания, мм; h_0 – толщина листа, мм.

Предварительно зачищенные и обезжиренные пластины устанавливаются и обжимаются в кондукторе, устанавливаются между пуансонами, которые затем вдавливаются домкратом в пластины на заданную глубину.

При проверке прочности сварного соединения на срез на этом же стенде применялись специальные фиксаторы, вертикально закреплявшие сваренные образцы. Для создания усилия на срез использовался домкрат с усилием (грузоподъемностью) до 1000 кг. Усилие на срез также определялось по давлению гидравлической жидкости, которое измерялось манометром (давлением до 60 кГ/см²).

Стенд сварки трением

Сварка трением происходит в твердом состоянии при воздействии теплоты, возникающей при трении поверхностей свариваемых деталей. Трение поверхностей осуществляется относительным вращением одной из свариваемых деталей при наличии сжимающего усилия P_1 , затем, после резкой остановки, вращения прикладывается дополнительное (проковочное) усилие P_2 (рис. 5, а). Прочное сварное соединение образуется в результате возникновения металлических связей между контактирующими поверхностями после разрушения и удаления из зазора между ними различных воздушных, газовых, жидкостных и окисных прослоек, которые препятствуют соединению деталей.

Особенностью этого стенда является применение электродвигателя мощностью 1,2 кВт с частотой вращения 1400 об/мин и механизма разъединения двигателя и свариваемых деталей с помощью кулачковой муфты (рис. 2, а, б).

На основании 1 установлен электродвигатель 2, который через кулачковую муфту 3 и клиноременную передачу 4 соединяется с главным валом 5. С помощью кнопки 6 производится соединение вала двигателя через кулачковую муфту 3 с ремнем 4, рычагом 7 они разъединяются. Свариваемые детали 8 закрепляются в неподвижном зажиме 9 и патроне 10. Процесс сжатия свариваемых деталей осуществляется рукояткой 11, которая перемещает главный вал с помощью резьбы 12.

Высокая прочность соединения обеспечивается локальным и кратковременным воздействием теплоты в месте сварки, хорошей защитой его от кислорода и азота воздуха, удалением окисных и абсорбированных пленок в грат. Металл в месте сварки обладает мелкокристаллическим строением и сохраняет остаточный наклеп.

Малый объем металла, нагреваемого при сварке трением, определяет исключительно высокие энергетические характеристики процесса, расход энергии и мощность при этой сварке в 5–10 раз меньше, чем при контактной.

Качество сварки определяется визуально методом излома места сварки по следующим факторам:

- в изломе не допускается наличие «блестящих» полос скольжения и темных зон окисления металла;
- «блестящие» полосы допускаются в периферийной зоне сечения при условии, что они будут полностью сняты при токарной обработке;
- допускаются дефекты в виде «блестящих» колец в центре излома при их площади < 0,15 от площади сечения;

– допускаются матовые полосы скольжения по эталону.

а)

б)

Рис. 2. Схема и внешний вид стенда для сварки трением встык

Стенд для диффузионной сварки

Диффузионная сварка производится в герметичной камере в условиях вакуума при нагреве образцов до температуры, составляющей значение 50-70 % от температуры их плавления и при относительно небольшом усилии сжатия. При этом время выдержки должно составлять 10-30 мин.

Стенд предназначен для сварки образцов из следующих материалов – медь, алюминий, сталь, латунь. Выбор этих материалов ограничивается допустимыми температурами нагрева образцов – 500-600 °С.

Схема рабочей камеры представлена на рис. 3, а.

Образцы для сварки 1 помещены на нагреватель 2 через слюдяную пластинку 3. Через такую же пластинку сверху на образцы помещается керамическая пластинка 4. Для сжатия свариваемых образцов с усилием $P_{сж} = 1500$ Н используется винт 5, который закручивается во втулке с крутящим моментом $M_{кр} = 0,3$ кг·м с помощью динамометрического ключа.

Нагреватель 2 размещен на основании рабочей камеры 7. Механизм сжатия с рабочими образцами закрывается герметичной крышкой 8 с иллюминаторами 9, предназначенными для наблюдения за процессом сварки. Охлаждение рабочей камеры осуществляется вентилятором 10 с приводом от электродвигателя 11. Воздух движется в зазоре между крышкой камеры 8 и кожухом 12.

Для обеспечения вакуума рабочая камера соединяется через патрубок 13 и клапан 14 с вакуумным масляным пластинчато-роторным насосом 2HBP-5DM (14), который обеспечивает остаточное давление в рабочей камере $10^{-5} - 6,7 \cdot 10^{-4}$ кПа. Давление в рабочей камере контролируется с помощью стрелочного вакуумметра ОБВ1-1650 (15).

Питание нагревателя 2 осуществляется через герметизированные токовыводы 16 от трансформатора с помощью пульта управления. Контроль температуры нагревателя производится термопарой 17, сигнал от которой фиксируется милливольтметром, отградуированным в градусах Цельсия. Прибор измерения температуры установлен на пульте управления.

Общий вид стенда приведен на рис. 3, б.

а

б

Рис. 3. Схема и общий вид стенда диффузионной сварки

Испытания по диффузионной сварке проводились на образцах из разных материалов – медь, алюминий, латунь, сталь. Размеры образцов – диаметр 15 мм, толщина 3 мм. Для каждого из сочетаний материалов проводились несколько испытаний и находились оптимальные значения режимов. Эти значения приведены в таблице.

После сварки образцы подвергались качественным испытаниям на прочность (на разрыв). Это производилось методом введения стального клина в зазор между образцами. При низкой прочности на разрыв сварка повторялась с изменением режимов.

Стенд для сварки в контролируемой атмосфере

Сварка в контролируемой атмосфере производится в герметичной камере, заполненной защитным газом. В качестве рабочей среды могут использоваться такие защитные газы как аргон, углекислый газ и смеси газов.

Стенд для сварки в контролируемой атмосфере (рис. 4) имеет герметичный металлический корпус 1, выполненный из нержавеющей стали толщиной 2 мм. Корпус имеет диаметр 410 мм и высоту 480 мм. Сверху размещен иллюминатор 2 диаметром 210 мм толщиной стекла 7 мм, аналогичный иллюминатор 3 диаметром 120 мм помещен сзади стенда. Для удобства обзора внутреннего пространства верхний иллюминатор 2 имеет наклон около 20°.

Рис. 4. Схема лабораторного стенда для сварки в контролируемой среде

Корпус стенда (рабочая камера) имеет два патрубка 4 диаметром 130 мм, где закреплены резиновые рукавицы 5, с помощью которых производятся сварочные операции внутри стенда. На днище стенда размещается рабочий стол 6, выполненный из стального листа. Он закреплен на днище через изолирующую прокладку 7.

Через резиновые рукавицы 5 сварщик оперирует сварочным держателем 8 с неплавящимся электродом и свариваемыми деталями 9, которые размещаются на рабочем столе 6. Подвод электропитания осуществляется проводом 10 через изолированную клемму 11, закрепленную в корпусе 1.

Загрузка и выгрузка свариваемых деталей и сварочных материалов производится через шлюзовую камеру, размещенную в передней части стенда. Оно представляет собой цилиндрическую вставку диаметром 150 мм и длиной 150

мм, закрытую дверцами с герметизирующими резиновыми прокладками. Подача защитного газа внутрь стенда и в шлюзовую камеру производится через патрубков с краником.

Для выравнивания давления в камере при повышении температуры при сварке используется резиновая емкость.

Внешний вид стенда представлен на рис. 5.

Рис. 5. Внешний вид стенда для сварки в контролируемой среде

На лабораторном стенде произведены испытания по сварке в контролируемой атмосфере (аргоне) нескольких пластин из разных материалов и разной толщины:

- титановые пластины толщиной 2 мм;
- титановые пластины – 3 мм;
- пластины из нержавеющей стали – 1,5 мм;
- пластины из углеродистой стали – 2 мм.

Результаты (Results)

Образцы холодной сварки пластин из алюминиевого и медного сплавов представлены на рис. 6. Результаты испытаний по холодной сварке представлены на рис. 7.

На рис. 8 изображена фотография макрошлифа сварного соединения пластин толщиной 5 мм.

Рис. 6. Образцы холодной сварки пластин из алюминиевого и медного сплавов

Анализ результатов исследований точечной холодной сварки пластичных материалов показывает следующее.

На алюминиевых пластинах холодная сварка произошла только при глубине вдавливания $\delta > 75\%$ (при толщине металла $h_0 = 2,5$ мм) и при $\delta > 85\%$ (при толщине металла $h_0 = 5$ мм). На медных пластинах соединение произошло при $\delta > 75\%$ (при $h_0 = 2$ мм) и при $\delta > 85\%$ (при $h_0 = 6$ мм).

С увеличением относительной деформации (глубины вдавливания) увеличивается прочность сварного соединения (рис. 7, а). Так, при глубине вдавливания $\delta = 75\%$ напряжение на срез составляет $\tau = 20$ МПа, при $\delta = 95\%$ напряжение $\tau = 150$ МПа, а при $\delta = 100\%$ $\tau = 220-260$ МПа для разных толщин и материалов. Это увеличение прочности объясняется увеличением размеров периферийной зоны места сварки.

Рис. 7. Зависимость прочности соединения на срез (а) и удельного усилия сжатия пуансонов (б) при сварке от глубины вдавливания рабочих пуансонов; алюминиевый сплав: 1 – $h_0 = 2,5$ мм; 2 – $h_0 = 5$ мм; медь: 3 – $h_0 = 2$ мм; 4 – $h_0 = 6$ мм

С увеличением относительной деформации увеличивается усилие сжатия пуансонов. На рис. 7, б представлены данные по удельному усилию, рассчитанному на единицу рабочей площади контакта пуансона. Так, при относительной деформации $\delta = 75\%$ удельное усилие для алюминия составляет $F_{уд} = 80-100$ кг/мм², для меди – 160–210 кг/мм². При $\delta = 95\%$ эти значения для алюминия увеличиваются до 200 кг/мм², для меди – до 290–310 кг/мм².

Приведенные данные имеют большое практическое значение для расчета необходимого усилия сжатия для пуансонов разных диаметров.

На фотографии макрошлифа места сварного соединения (рис. 8) представлена внутренняя зона (под пуансонами), периферийная зона вокруг внутренней зоны и материал пластин вдали от сварного соединения. При этом отчетливо видна граница между пластинами вдали от сварного соединения и ее отсутствие около места сближения пуансонов. Это доказывает наличие периферийной зоны сварного соединения, которая по приближенным оценкам составляет 20–30% от размеров зоны сварного соединения под пуансонами. Основную прочность этого соединения обеспечивает периферийная зона.

Рис. 8. Макрошлиф соединения холодной сваркой пластин из алюминиевого сплава толщиной 5 мм

Результаты испытаний диффузионной сварки образцов из нескольких материалов представлены в таблице 1 и на рис. 9-10.

Таблица 1. Оптимальные значения режимов диффузионной сварки

№ режима	Сочетания металлов	Сжатие образцов		Температура нагрева, °C	Время выдержки, мин	Температура охлаждения, °C
		Усилие сжатия, Н	Крутящий момент, Н·м			
1	Медь+медь Ø 10 мм	1 500	0,3	450	10	100
2	Медь+медь Ø 15 мм	3 000	0,6	500	10	100
3	Медь+алюминий	3 000	0,6	500	15	100
4	Медь+латунь	3 000	0,6	550	15	100
5	Медь+сталь	3 000	0,6	600	25	100

В результате этих испытаний можно отметить, что наиболее прочное соединение получено для сочетания металлов медь + медь и медь + алюминий. Для сочетания медь + сталь получена пониженная прочность, видимо, из-за низкой температуры нагрева (550-600 °C при необходимой 900–1000 °C), которая задавалась исходя из возможностей нагревателя.

Рис. 9. Внешний вид образцов, сваренных диффузионной сваркой:
а – медь+медь; б – медь+латунь; в – медь+алюминий; г – медь+сталь

Внешний вид сваренных диффузионной сваркой образцов представлен на рис. 9, микрошлиф сварного соединения – на рис. 10.

Анализ изображения микрошлифа показывает отсутствие четкой границы соединения свариваемых материалов, что указывает на прошедший процесс диффузии между свариваемыми материалами. Это обеспечивает достаточную прочность полученного соединения.

В результате испытаний сварки в контролируемой атмосфере образцов из нескольких материалов можно отметить следующее.

1. Для всех материалов процесс сварки происходил устойчиво, без пульсаций, искр и выбросов металла.
2. Для всех толщин пластин получены качественные швы.
3. Все швы не имеют внешних дефектов, поверхности ровные, без пор, трещин, механических включений.

В качестве достоинства лабораторного стенда можно отметить следующее.

Рис. 10. Микрошлиф сварного соединения при диффузионной сварке

1. Возможность демонстрации технологии подготовки к сварке и самого процесса сварки в камере с контролируемой атмосферой.

2. Возможность наблюдения за технологией сварки в контролируемой атмосфере.

3. Экономия защитного газа.

Недостатки лабораторного стенда.

1. Сложность регулировки вольфрамового электрода в сварочном держателе внутри рабочей камеры.

2. Невозможность сварки деталей больших размеров.

3. Сложность процесса замены деталей после сварки через шлюзовую камеру.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Представленные лабораторные стенды широко применяются при проведении лабораторных работ по курсу «Специальные методы сварки» для студентов очной и заочной форм обучения. Кроме этих стендов используется оборудование для исследования процессов ультразвуковой, лазерной, подводной сварки, подводной резки, сварки пластмассовых труб и др. В процессе проведения этих лабораторных работ студенты получают навыки практической работы при использовании нетрадиционных методов сварки, резки и обработки различных материалов. Это является хорошей базой для их последующей профессиональной деятельности. Опыт, полученный при проектировании, изготовлении лабораторных стендов и особенно при проведении исследований и испытаний этих стендов позволяет в дальнейшем проводить проектно-технические и научно-исследовательские работы на достаточно высоком уровне.

Список используемых источников:

1. ФГОС ВО по направлению 15.03.01 «Машиностроение».
2. Стаценко В.Н. Специальные методы сварки. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 166 с.
3. Банов М.Д., Масаков В.В. Специальные способы сварки и резки: Академия, 2009. 208 с.
4. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов. Академия, 2006. 198 с.

5. Титова С.В. Информационно-коммуникативные технологии в гуманитарном образовании: теория и практика. М., 2009. 240 с.
6. Charles Lloyd, James A Frazier *Engineering* (book 1, 2, 3). Express Publishing, 2011. 256 p.

References:

1. The Federal State Educational Standard of Higher Professional Education: direction 15.03.01 Mechanical engineering.
2. Statsenko V.N. *Special welding techniques*. Vladivostok: Publishing house of FESTU, 2007. 166 p.
3. Banov M.D., Mesacov V.V. *Special methods of welding and cutting*: Academy, 2009. 208 p.
4. Lusinsky V.A. *Diffusion welding of dissimilar materials*. Academy, 2006. 198 p.
5. Titova S.V. *Information and communication technologies in humanitarian education: theory and practice*. М., 2009. 240 p.
6. Charles Lloyd, James A Frazier *Engineering* (book 1, 2, 3). Express Publishing, 2011. 256 p.

© 2015, Стаценко В.Н., Бернавская М.В.
Разработка экспериментального комплекса для
формирования профессиональной
компетентности специалистов направления
«Машиностроение»

© 2015, Statsenko V.N., Bernavskaya M.V.
*Development of experimental complex for formation
of professional competence of "Mechanical
engineering" specialists*