

Анализ процессов сварки металлов аккумулированной энергией

С.В. Нескоромный, Д.Е. Матвиенко, А.С. Куфа, Е.Л. Стрижаков<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Донской государственный технический университет,  
г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены принципиальные схемы технологий приварки стержневых элементов к корпусным деталям CD Stud Welding, ударная конденсаторная сварка (УКС) в атмосфере и в вакууме, высоковольтная конденсаторная сварка с индукционно-динамическим приводом (ВКС с ИДП).

Описаны особенности и возможности каждой технологии. Приведен сравнительный анализ длительности теплового воздействия на свариваемые детали. В результате анализа полученных сварных соединений дано заключение о целесообразности использования технологии при сварке разнородных сплавов, которое согласуется с макроструктурным анализом.

Ключевые слова: ударная конденсаторная сварка, интерметаллиды, индуктор, разнородные металлы.

Большинство металлоконструкций изготавливают сборными. Как правило, сборку производят на монтаже за счет крепежных элементов, привариваемых к основной части металлоконструкции. Для приварки стержневых элементов из углеродистых и легированных сталей применяют дуговые способы сварки, которые непригодны для сварки цветных металлов в однородном и разнородном сочетаниях в связи с формированием хрупких интерметаллидных прослоек [6].

Наиболее распространенными материалами метизов являются алюминиевые и медные сплавы, изготавливаемые по ISO 13918.

Для повышения надежности сварных соединений стержневых элементов из цветных металлов с основной частью металлоконструкции, нужно снизить ширину зоны хрупкой составляющей за счет локального тепловыделения и импульсного механического воздействия на зону соединения.

В настоящее время разработаны несколько технологий приварки стержневых элементов за счет разряда аккумулированной энергии в батареях конденсаторов на свариваемые детали [2].

Технология приварки шпилек CD Stud Welding, рис. 1 заключается в следующем. Свариваемые детали  $D_1$  и  $D_2$ , приводят в статический контакт с усилием сжатия  $F_{сж} = 50 \div 150 \text{ Н}$ . Торец стержневого элемента  $D_1$  имеет цилиндрический выступ [4].

Зарядное устройство ЗУ заряжает емкостный накопитель энергии С до заданного напряжения. При срабатывании блока управления БУ тиристором VS, накопленная энергия батарей конденсаторов выделяется в зоне контакта

деталей Д1 и Д2.

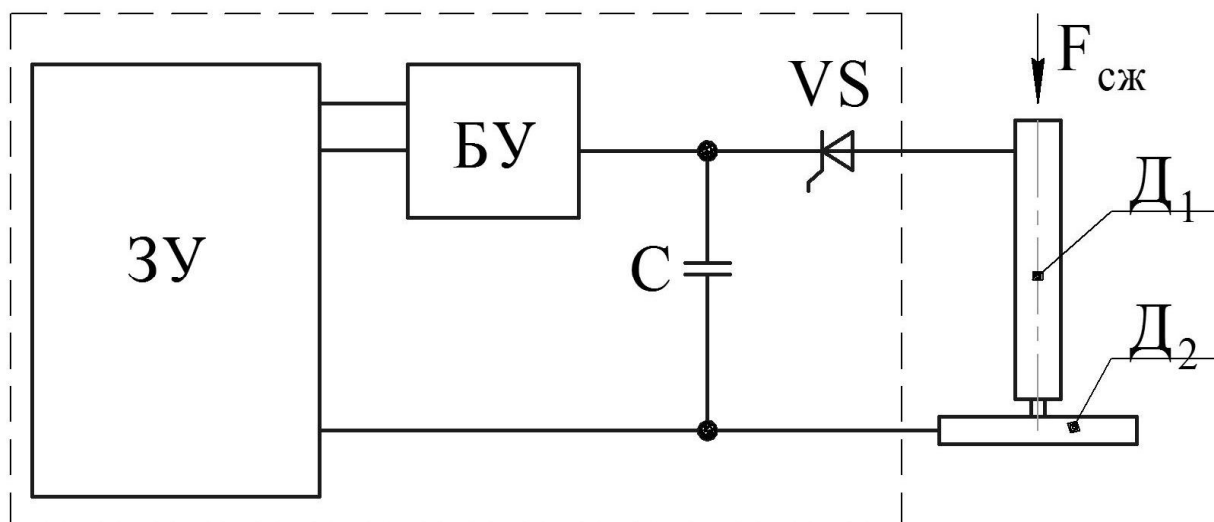


Рисунок 1 – Принципиальная схема CD Stud Welding

ЗУ – зарядное устройство; БУ – блок управления; С – емкостный накопитель энергии; VS – тиристорный блок; Д<sub>1</sub> и Д<sub>2</sub> – свариваемые детали, F<sub>сж</sub> – усилие сжатия деталей

Длительность процесса оплавления свариваемых поверхностей и их сближения пружинным механизмом составляет 1÷5 мс. Сварное соединение формируется в жидкой фазе, объем которой зависит от усилия прижатия пружины F<sub>сж</sub>.

Для приварки стержневых элементов диаметром до 6 мм с подложкой в однородном и разнородном сочетаниях разработан и исследован процесс ударной конденсаторной сварки (УКС) [1].

Процесс реализуется за счет перемещения стержневого элемента 2 под действием пружинного привода 3 к подложке 1. Детали подключаются к источнику питания, основу которого составляют батареи конденсаторов С, рис.2.

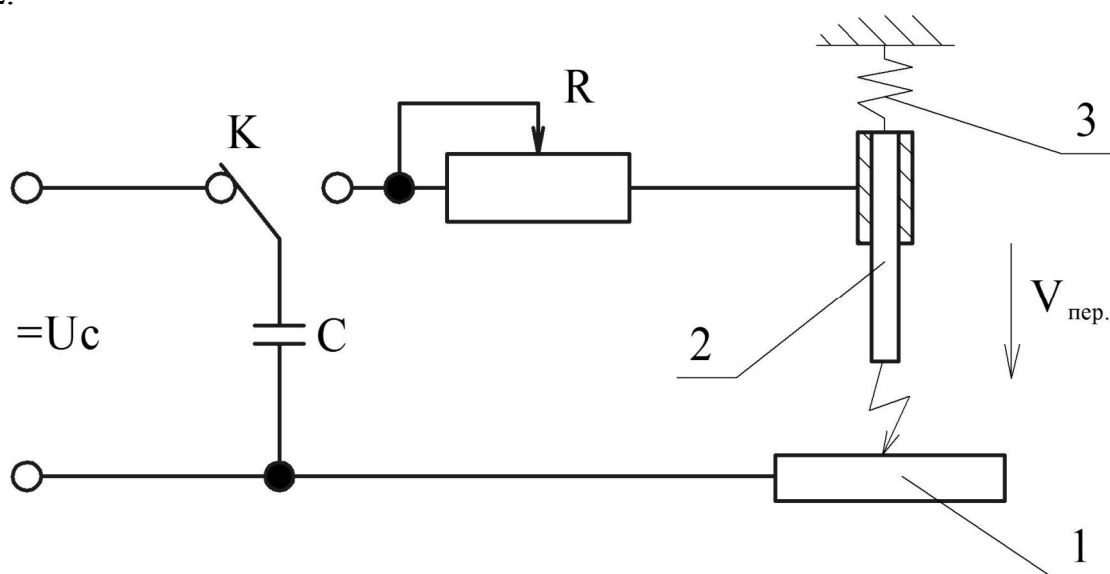


Рисунок 2 – Принципиальная схема УКС

При замыкании контакта  $K$ , накопленная энергия батарей конденсаторов  $C$  протекая через ограничительное сопротивление  $R$ , выделяется в зазоре между свариваемыми деталями 1 и 2. Возникает дуга, горящая в парах металла. Давление паров металла противодействует усилию прижатия деталей. При преодолении пружинным приводом 3 давления паров металла, стержневой элемент погружается в ванну жидкого металла, происходит совместная кристаллизация. Сварное соединение формируется в жидкой фазе, что крайне нежелательно при сварке цветных металлов.

Для уменьшения ширины интерметаллидной составляющей, было предложено использовать в качестве защитной атмосферы – вакуум. Проведенные исследования УКС под давлением  $0,133 \div 0,00133$  Па показали, что при сварке в вакууме происходит интенсификация испарения паров расплавленного металла. Давление паров расплавленного металла в вакууме меньше по сравнению с воздушной средой, что приводит к снижению демпфирования соударяемых деталей и выплеска из зоны соединения большего объема расплавленного металла, что подтверждается макроструктурным анализом сварных соединений [3].

Использование вакуума приводит к большим затратам и увеличению трудоемкости работ, поэтому в настоящее время реализованы различные технологические приемы УКС в атмосфере по снижению ширины интерметаллидной составляющей, например нанесения промежуточных покрытий на одну из деталей (при сварке алюминиевых шпилек со сталью, на торез шпильки наносят слой меди). Медь является связующим звеном в труднорастворимых соединениях металлов [1, 3].

Для сварки стержневых элементов диаметром  $6 \div 25$  мм, предложено использовать высоковольтную ударную конденсаторную сварку с индукционно-динамическим приводом (ВКС с ИДП), рис. 3 [5, 7].

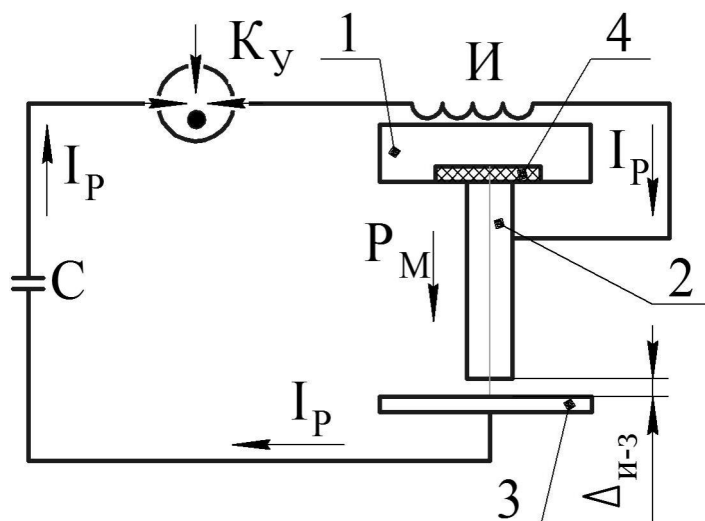


Рисунок 3 - Разрядный контур устройства ВКС с ИДП

1 – толкатель; 2 – стержневой элемент; 3 – пластина; 4 – диэлектрическая вставка;  $I_p$  – разрядный ток;  $P_M$  – магнитное давление;  $K_y$  – коммутающее устройство;  $I$  – индуктор;  $C$  – емкостный накопитель энергии,  $\Delta_{и-3}$  – исходный зазор

В процессе разряда батарей конденсаторов  $C$ , протекающий ток  $I_p$  по виткам индуктора  $I$  создает переменное магнитное поле, которое наводит вихревые токи в толкателе 1. Взаимодействие вихревых токов в толкателе с магнитным полем индуктора приводит к возникновению магнитного давления  $P_m$ , таким образом осуществляется механическое воздействие на стержневой элемент 2 [4, 7].

Для синхронизации импульсной механической и тепловой нагрузки в цепь генератора импульсных токов индукционно – динамический привод включен последовательно со свариваемыми деталями.

ИДП состоит из плоского индуктора, в рабочей зоне которого размещен толкатель. Длительность разряда тока зависит от числа витков индуктора ИДП и не превышает  $100 \div 500 \mu\text{с}$ .

Сопоставление длительности протекания сварочного тока при сварке шпилек приведено на рис. 4.

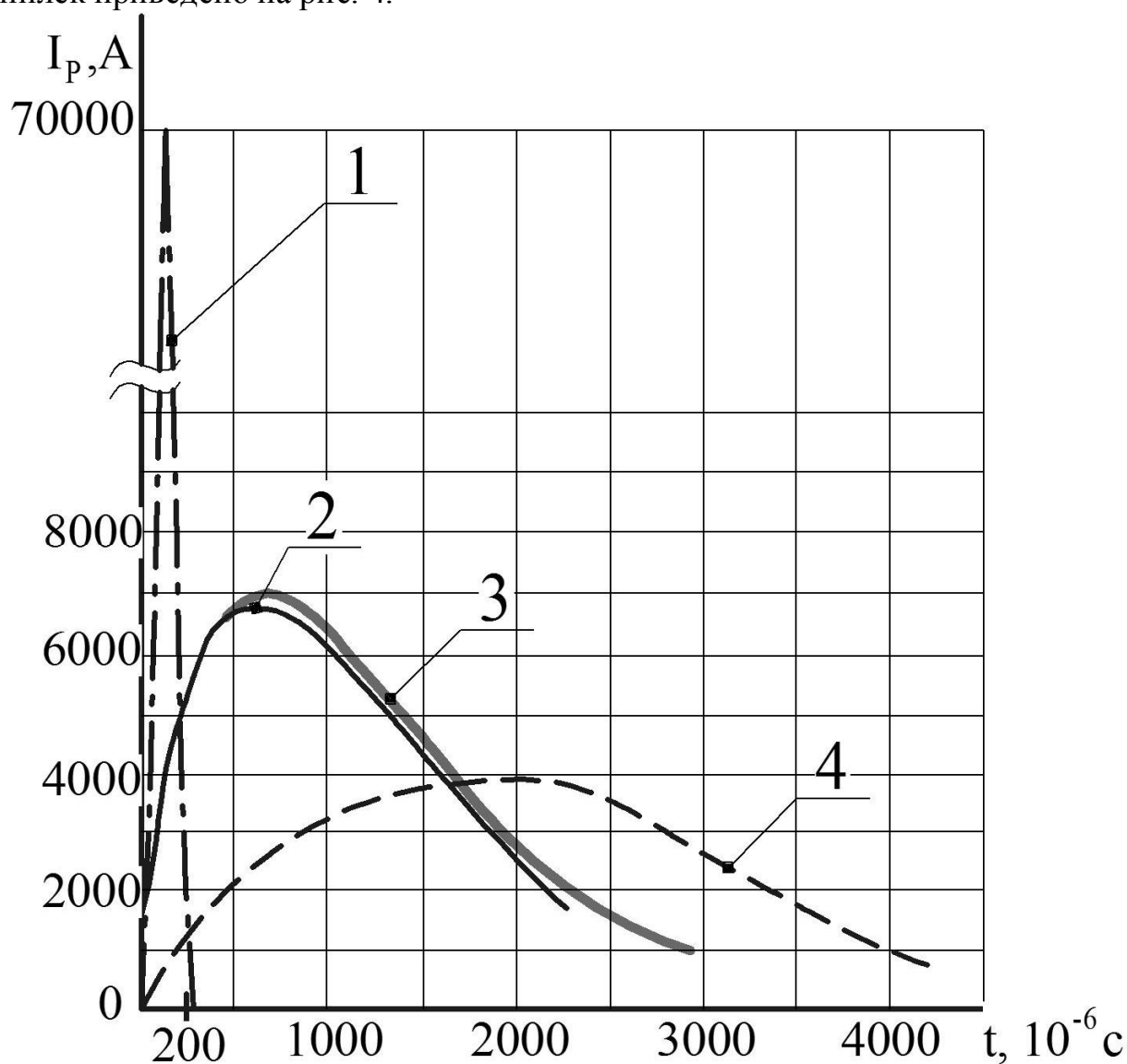
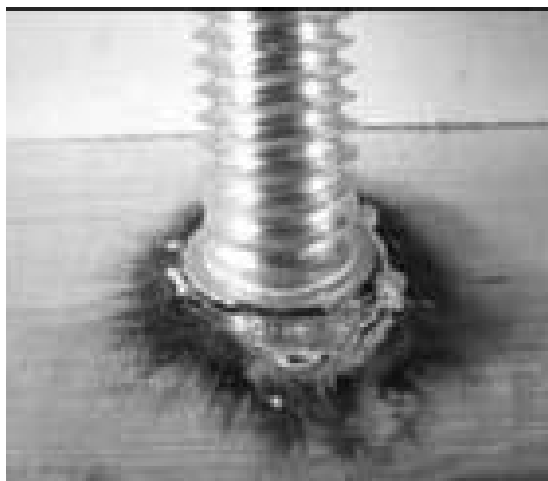


Рисунок 4 - Графики зависимости  $I=f(t)$  стержней  $d=6\text{мм}$  из сплава АмГЗ со стальными листами: 1 – ВКС с ИДП; 2 – УКС в атмосфере; 3 – УКС в вакууме; 4 – технология CD Stud Welding

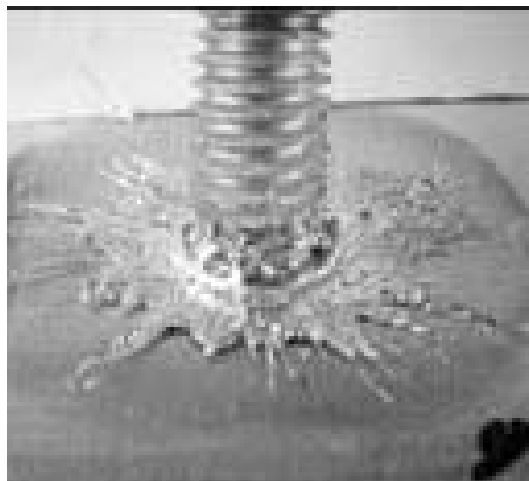
Внешний вид сварных соединений алюминиевых стержней со стальными пластинами приведена на рис. 5.

Объем выплеснутого металла при УКС в вакууме больше, чем при УКС в атмосфере, рис. 5 а,б. Это связано с тем, что при сварке в вакууме давление паров расплавленного металла гораздо ниже, чем в воздухе, что приводит к созданию большего усилия прижатия стержня пружинным механизмом.

При использовании технологии CD Stud Welding, объем выплеснутого металла имеет промежуточное значение по сравнению в УКС в атмосфере и в вакууме, рис. 5, в.



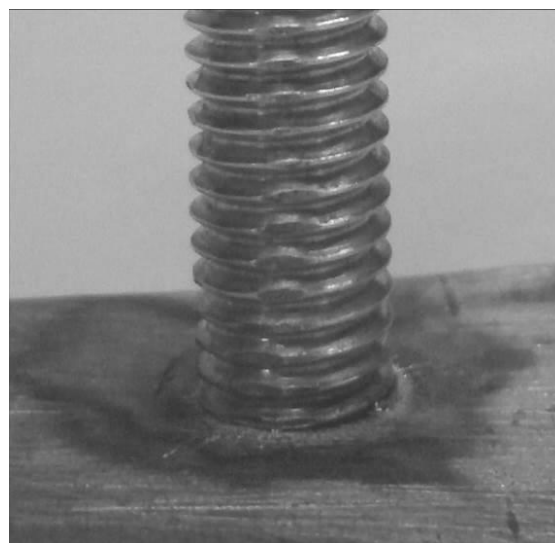
а



б



в



г

Рисунок 5 - Внешний вид сварных соединений алюминиевых стержней со стальной подложкой: а – УКС; б – УКС в вакууме (0,00133 Па); в – технология CD Stud Welding; г – ВКС с ИДП

При ВКС с ИДП вокруг стержневого элемента имеются черные очертания окислившегося металла. Выплесков металла из зоны соединения не наблюдается в связи с кратковременностью процесса и малым объемом расплавленного металла, рис. 5, г.

Макроструктура шлифов сварных соединений алюминиевых стержней со стальными пластинами приведена на рис. 6.

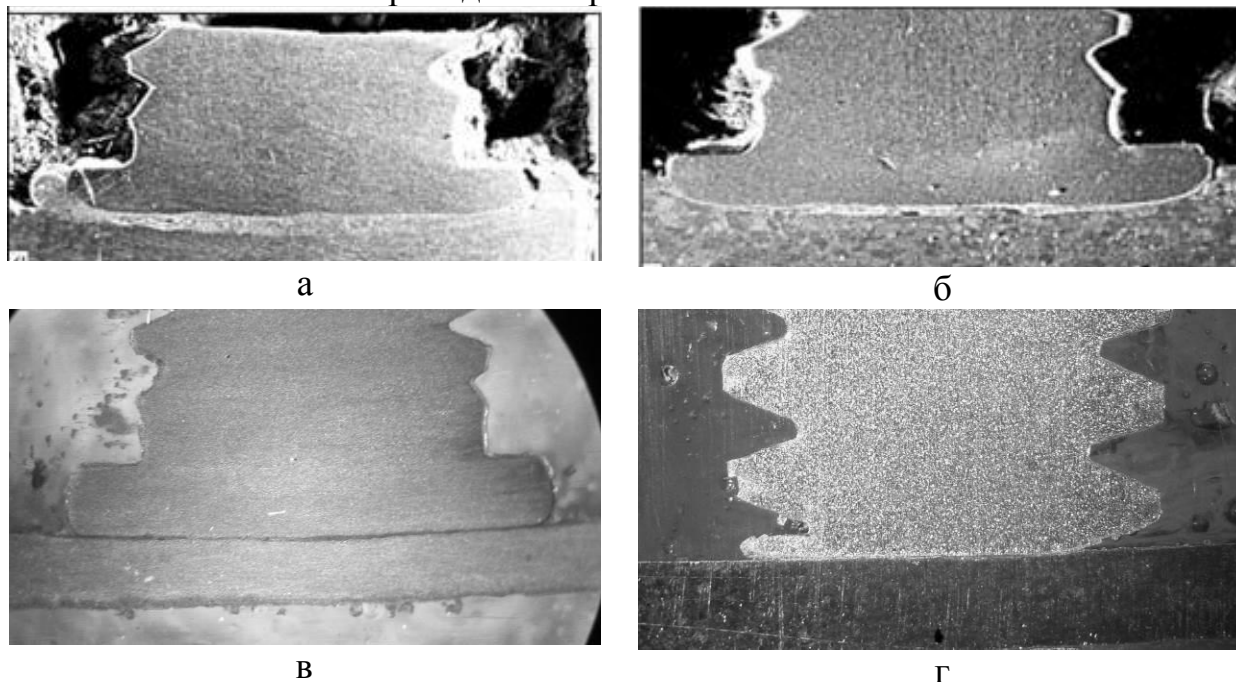


Рисунок 6 - – Макроструктура сварных соединений алюминиевых стержней со стальной подложкой (x16): а – УКС в атмосфере; б – УКС в вакууме (0,00133 Па); в – технология CD; г – ВКС с ИДП

При УКС в вакууме, толщина закристаллизовавшегося металла в зоне соединения меньше по сравнению с УКС в атмосфере, а, б, что подтверждается исследованиями [3].

Ширина зоны закристаллизовавшегося металла при использовании технологии CD Stud Welding меньше по сравнению с УКС в атмосфере, рис. 6, в.

При ВКС с ИДП закристаллизовавшийся металл в зоне соединения отсутствует в связи малым объемом расплавленного металла и его полным выплеском из зоны соединения за счет ковочного усилия, создаваемого ИДП и формированием сварного соединения в твердой фазе, рис. 6, г.

**Выводы.** Технология CD Stud Welding и УКС с пружинным приводом позволяют получить сварные соединения в жидкой фазе, что неприемлемо при сварке разнородных металлов, образующих интерметаллидные включения (например алюминий со сталью).

При использовании УКС с пружинным приводом в вакууме, ширина закристаллизовавшегося металла существенно ниже, чем при атмосферном давлении. Но наличие дорогостоящего оборудования ограничивают области применения данного процесса.

ВКС с ИДП за счет супержестких режимов позволяет осуществить сварку металлов в разнородном сочетании. Формирование сварного соединения в твердой фазе позволяет получить неразъемные соединения без интерметаллидных хрупких соединений.

#### Библиографический список

1. Калеко Д. М. Приварка стальных шпилек к алюминиевым листам / Д.М. Калеко // Автоматическая сварка. - 2013 - №8. – С. 38-43.
2. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки давлением / Г.В. Конюшков, Р.А.Мусин. Изд. Ай Пи Эр Медиа, 2009.- 632с.
3. Конденсаторная приварка шпилек в вакууме / Б.Е. Патон, Д.М. Калеко, А.Р. Булацев, В.Ф. Шулым // Автоматическая сварка. - 2012. - №4. – С. 42-47.
4. Нескоромный С.В. Специальные методы магнитно-импульсной сварки / С.В. Нескоромный, Е.Л. Стрижаков. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. - 152с.
5. Классификация приемов и исследование процесса высоковольтной конденсаторной сварки / Е. Л. Стрижаков, С.В. Нескоромный, Р.В. Меркулов, С.О. Агеев // Сварочное производство. - 2015. - № 3. – С. 42-46.
6. Влияние температуры нагрева на процесс образования интерметаллидов при магнитно-импульсной сварке. / В.А. Чудаков, К.К. Хренов, Ю.А. Сергеева и др. // Сварочное производство. – 1985. - № 9. - С. 16-18.
7. Discharge – pulse welding of dissimilar details / S.V. Nescoromniy, S.O. Ageev, S.V. Lemeshev and other // Materials of the IX international research and practice conference, Munich, December 24<sup>th</sup> – 25<sup>th</sup>. - Germany, 2014 – С. 401 – 409.