

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"БЕЛОРУССКО – РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

УДК 621.791.763.2

**ПОЛЯКОВ
АНДРЕЙ ЮРЬЕВИЧ**

**КОНТАКТНАЯ РЕЛЬЕФНАЯ СВАРКА ПАКЕТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
С АВТОМАТИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

по специальности 05.02.10 "Сварка, родственные процессы и технологии"

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Фурманов Сергей Михайлович

Могилев – 2014

Научная работа выполнена в государственном учреждении высшего профессионального образования "Белорусско–Российский университет"

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Фурманов Сергей Михайлович, кафедра "Оборудование и технология сварочного производства" ГУВПО "Белорусско–Российский университет", г. Могилев.

Официальные оппоненты:

1. Денисов Леонид Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры "Порошковая металлургия, сварка и технология материалов" Белорусского национального технического университета, г. Минск;

2. Радченко Александр Адамович, кандидат технических наук, заместитель директора ОХП ГНУ "Институт сварки и защитных покрытий", г. Минск.

Оппонирующая организация:

учреждение образования "Полоцкий государственный университет", г. Новополоцк.

Защита диссертации состоится "13" февраля 2015 г. в 13⁰⁰ на заседании Совета по защите диссертаций К 02.18.01 в государственном учреждении высшего профессионального образования "Белорусско–Российский университет" по адресу: 212005, г. Могилев, проспект Мира, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения высшего профессионального образования "Белорусско–Российский университет".

Автореферат разослан " ____ " _____ 2014 г.

**Ученый секретарь
Совета по защите диссертаций
доктор физико–математических наук**

В.И. Борисов

ВВЕДЕНИЕ

Контактная рельефная сварка, характеризуемая высокой производительностью и гигиеничностью процесса, традиционно применяется для получения неразъемных соединений из двух деталей. Параметры режима для сварки различных металлов определенной толщины широко представлены в справочниках, рекомендациях, номограммах. Однако при производстве кузовов автомобилей, замочно-скобяных изделий, железобетонной арматуры, электротехнических изделий имеется необходимость получения неразъемных соединений, состоящих не из двух, а из трех и более деталей, причем за один цикл сварки (пакетные соединения). Массовость и серийность, необходимость бесперебойности их производства на фоне отсутствия рекомендаций по выбору основных параметров режима вынуждает сварщиков завышать сварочный ток и длительность его протекания, что приводит, прежде всего, к необоснованному увеличению электроэнергии, потребляемой сварочной машиной, особенно при значительном увеличении количества деталей пакета и программы выпуска изделий.

При наличии в межэлектродной зоне нескольких последовательно или параллельно расположенных сопротивлений контакта "деталь-деталь" происходит неравномерный ввод электрической энергии в отдельные зоны расплавления, результатом чего являются дефекты типов "непровар", "пора", "выплеск". При этом серийно выпускаемая аппаратура управления машин для контактной сварки не позволяет регулировать ввод электрической энергии в межэлектродную зону, а также его оптимизировать. Это увеличивает расход электроэнергии, потребляемой сварочной машиной в отдельных циклах сварки, и нарушает стабильность прочностных показателей пакетных соединений.

Исследования, посвященные контактной сварке соединений трех и более деталей за один цикл, в литературе практически отсутствуют.

В этой связи тема диссертации, посвященная разработке технологического процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений и средств его реализации на основе автоматического регулирования параметров режима с целью обеспечения прочности соединений, является весьма актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами. Тема диссертации соответствует п. 8.9. "Физическое и математическое моделирование, контроль и диагностика сварочных процессов, деформаций и напряжений в сварной конструкции" приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. в области разработки высокоэффективных ресурсосберегающих технологий контактной точечной и рельефной сварки. Научные исследования

по теме диссертации проводились в соответствии с планом НИР Белорусско–Российского университета ГБ № 1120 “Разработка ресурсосберегающих технологических процессов сварки тонколистового металла” в разделе №3 “Разработка ресурсосберегающей технологии контактной рельефной сварки пакетных соединений тонколистового металла”, в выполнении которого принимал участие диссертант (регистрация под №20111338 от 09.06.2011).

Цель исследования. Разработать способ контактной рельефной сварки за один цикл соединений, состоящих из трех и более деталей, обеспечивающий их прочность на основе автоматического регулирования количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, а также создать новые средства регулирования тепловложения для решения прикладных задач по снижению себестоимости изготовления сварных конструкций.

Задачи исследований: 1. Разработать методику, позволяющую рассчитывать основные параметры режима контактной рельефной сварки пакетных соединений из низкоуглеродистой стали с учетом особенностей параллельного или последовательного протекания сварочного тока одновременно через несколько сварочных контактов с целью решения производственной проблемы получения неразъемных соединений, состоящих из 3–5 деталей толщиной от 1 до 5 мм за один цикл без наличия дефектов со стабильной прочностью и возможностью учета количества и формы выштампованных рельефов. 2. Смоделировать процесс контактной рельефной сварки пакетных соединений с целью раскрытия механизма деформирования деталей пакета в межэлектродной зоне и определения наиболее эффективного способа введения в нее электрической энергии в ходе процесса сварки на базе существующих пошагово–совмещенных методов расчета напряженно–деформированного состояния металла зоны соединения при контактной сварке. 3. Разработать способ автоматического регулирования длительности протекания сварочного тока на основе стабилизации количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону на различных стадиях процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений, обеспечивающий их стабильную прочность при экономии электроэнергии, потребляемой контактной машиной. 4. Разработать на базе исследований новые циклограммы, специальные электродные устройства и средства автоматического регулирования вводимой в межэлектродную зону электрической энергии для осуществления технологического процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений с обеспечением их прочности и внедрить их в производство.

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в разработке автоматически регулируемого процесса контактной рельефной сварки за один цикл соединений, состоящих из трех и более деталей, за счет уменьшения величины сварочного тока на установленных начальном и конечном этапах кинетики формирования соединения, а также введения фиксированной электрической энергии в межэлектродную зону на каждом из этапов с учетом изменяющегося сопротивления межэлектродной зоны для

пакетов из различного количества деталей, что дает возможность обеспечить и повысить прочность пакетных сварных соединений при экономии электроэнергии, потребляемой контактной машиной.

Положения, выносимые на защиту.

1. Установленная по принципу подобия зависимость между количеством деталей свариваемого пакетного соединения и длительностью протекания сварочного тока на основе анализа вводимой в межэлектродную зону электрической энергии, затрачиваемой, с одной стороны, на нагрев и плавление центрального столбика металла, и, с другой стороны, на тепловые потери, которая позволяет рассчитывать параметры режима контактной рельефной сварки пакетных соединений из низкоуглеродистой стали и в заводских условиях сваривать за один цикл соединения, состоящие из 3–5 деталей толщиной от 1 до 5 мм без наличия дефектов со стабильной прочностью и возможностью учета количества и формы выштампованных рельефов.

2. Показано, что при контактной рельефной сварке пакетных соединений с целью стабилизации процессов начального и конечного нагрева металла рельефов электрическую энергию необходимо вводить в межэлектродную зону в три этапа: 1 – для активации и нагрева контактных поверхностей до температуры разупрочнения металла сварочный ток после включения необходимо значительно уменьшать относительно расчетного значения, что плавно увеличит деформацию рельефов и перемещение подвижного электрода контактной машины; 2 – для нагрева контактных поверхностей до температуры плавления металла с учетом требования максимальной жесткости режима сварочный ток необходимо резко увеличивать до расчетного значения, что приведет к интенсивной пластической деформации металла рельефов и ускорению процессов образования общей расплавленной литой зоны; 3 – после полной деформации рельефов для предотвращения шунтирования сварочного тока по поверхностям свариваемых деталей его величину перед выключением необходимо резко уменьшать.

3. Установлено, что поэтапное введение расчетного количества электрической энергии (энергии) в межэлектродную зону в определенном процентном соотношении путем задания многоступенчатого импульса сварочного тока обеспечивает плавность процессов нагрева и деформации рельефов, что обеспечивает и стабилизирует прочностные показатели формируемых пакетных рельефных соединений и дает возможность уменьшить электроэнергию, потребляемую сварочной машиной, за счет снижения количества вводимой энергии относительно расчетного значения.

Личный вклад соискателя. Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично или в соавторстве. Научному руководителю принадлежит основная идея работы. Основными соавторами по опубликованным работам являются профессор Березиенко В.П., доцент Фурманов С.М., доцент Бендик Т.И. В опубликованных работах автор участвовал в постановке задач, предлагал направления решения научных проблем, осуществлял теоретические и экспериментальные исследования,

предлагал формулировки общих подходов к проблеме обеспечения прочности рельефных пакетных соединений и выводов по результатам работы.

Таким образом, автором лично предложены: новая методика расчета основных параметров режима контактной рельефной сварки пакетных соединений, а также новый способ автоматического регулирования длительности протекания сварочного тока при его ступенчатом задании на основе анализа электрической энергии, вкладываемой в межэлектродную зону.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на Международных научно–технических конференциях: "Технологии дуговой и контактной сварки в современной промышленности", г. Санкт–Петербург, 2012 г.; "Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития", г. Краматорск, 2012 г.; "Информационные технологии, энергетика и экономика", г. Смоленск, 2009 г.; "Инновационные технологии, автоматизация и механотроника в машино– и приборостроении", г. Минск, 2012 г.; "Исследования и разработки в области машиностроения, энергетике и управления", г. Гомель, 2010 г.; "Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности", г. Могилев, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 гг.; "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии", г. Могилев, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 гг. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс на кафедре "Оборудование и технология сварочного производства" (5 актов внедрения НИР в учебный процесс).

Опубликование результатов диссертации. Результаты диссертационной работы полностью опубликованы в 6 статьях (из них 5 статей включены в перечень научных изданий из списка ВАК) и 19 тезисах докладов на международных научно–технических конференциях. Общее количество страниц опубликованных материалов – 83 стр. По результатам работы получено положительное решение по заявке на патент Республики Беларусь на полезную модель, а также подана заявка на патент Республики Беларусь на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации (с иллюстрациями, таблицами, библиографическим списком и приложениями) составляет 204 стр. Печатный текст диссертации без учета иллюстраций, таблиц, библиографического списка и приложений составляет менее 200 страниц, что соответствует п. 23 гл. 3 "Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации". При этом диссертация содержит 74 рисунка, 13 таблиц и 119 библиографических ссылок.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность научно-технической задачи, решаемой в диссертационной работе, сформулированы цель и задачи исследований, даны общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературных данных по теме диссертации. Проведен анализ существующих способов получения пакетных соединений контактной сваркой на производстве. Статистика показывает, что машины контактной сварки не обеспечивают стабильность прочностных характеристик пакетных соединений из-за колебаний сопротивления межэлектродной зоны и соответствующих отклонений количества вводимой в зону сварки электрической энергии (рисунок 1). Расход электроэнергии при этом чаще всего завышается относительно расчетных значений.

В литературе по контактной сварке отмечена возможность осуществления контактной рельефной сварки пакетных соединений по определенным схемам, но при этом выражены сомнения в возможности обеспечения качественной сварки данных соединений ввиду отсутствия в отечественных и зарубежных источниках информации о рекомендуемых параметрах режима сварки применительно к пакетам из низкоуглеродистых и низколегированных сталей.



Рисунок 1. – Диаграмма прочностных испытаний точечных пакетных соединений (Р_{ср} – усилие разрушения при испытании на срез)

Известные способы регулирования параметров режима контактной сварки, разработанные в Институте электросварки им. Е.О. Патона, Тольяттинском государственном университете, Красноярском институте космической техники и т.д., при всех своих преимуществах не позволяют точно и поэтапно вводить в зону сварки расчетное и достаточное количество электрической энергии, что не только дестабилизирует прочностные показатели формируемых сварных соединений, но и завышает электроэнергию, потребляемую контактной машиной в отдельных циклах сварки.

Во второй главе разработана и научно обоснована методика теоретического расчета параметров режима контактной рельефной сварки пакетных соединений, таких как количество электрической энергии, вводимой

в межэлектродную зону, величина сварочного тока и длительность его протекания, которая базируется на уравнении теплового баланса и подобии процессов введения электрической энергии в межэлектродную зону при увеличении количества одновременно свариваемых деталей пакета, а также учете их геометрических параметров перед сваркой, теплофизических свойств материала, количества и формы рельефов.

Было установлено, что процентное соотношение электрической энергии, затрачиваемой на нагрев и плавление центрального столбика металла, и энергии тепловых потерь на нагрев околошовной зоны и электродов при увеличении количества деталей не изменяется, т.е. значения этих составляющих полной энергии, вводимой в зону сварки, должны увеличиваться пропорционально увеличению количества свариваемых деталей. Соответственно, зная величину критерия подобия, можно определить требуемую длительность протекания сварочного тока для конкретного количества деталей пакета при различных формах и количестве рельефов.

Для пакетов из низкоуглеродистой стали при толщине листа 2 мм и сварке одновременно по трем парам круглых выштампованных рельефов формулы расчета критерия технологического подобия (безразмерный коэффициент) и требуемой длительности протекания тока τ_{CB} (с) в зависимости от количества деталей пакета n (шт.) выглядят следующим образом:

$$K = \frac{0,75n\delta d_p^2 c_M \gamma_M}{(3n\delta\sqrt{a_M\tau_{CB}}(d_p + 4\sqrt{a_M\tau_{CB}})K_1 c_M \gamma_M) + (0,25K_2 d_{\text{Э-Д}}^2 \sqrt{a_{\text{Э}}\tau_{CB}} c_{\text{Э}} \gamma_{\text{Э}})}$$

$$\tau_{CB} = \frac{\left[\sqrt{(3K_1 n \delta d_p c_M \gamma_M \sqrt{a_M} + 0,25K_2 d_{\text{Э-Д}}^2 c_{\text{Э}} \gamma_{\text{Э}} \sqrt{a_{\text{Э}}})^2 + 2304K_1^2 n^2 \delta^2 a_M^2 c_M^2 \gamma_M^2} \right]}{2304K_1^2 n^2 \delta^2 a_M^2 c_M^2 \gamma_M^2} \times$$

$$\times \frac{\left[\sqrt{+(36K_1 n^2 \delta^2 d_p^2 c_M^2 \gamma_M^2 a_M K) - 3K_1 n \delta d_p c_M \gamma_M \sqrt{a_M}} \right]^2}{2304K_1^2 n^2 \delta^2 a_M^2 c_M^2 \gamma_M^2} \quad (с)$$

Соответственно, для низкоуглеродистой стали были рассчитаны требуемые значения τ_{CB} для пакетов от 3 до 5 деталей (таблица 1).

Таблица 1 – Теоретический расчет длительности протекания сварочного тока τ_{CB} по критерию технологического подобия K

$\delta, \text{мм}$	$n, \text{шт}$	$\tau_{CB}, \text{с}$	$Q_{\text{пол}}, \text{Дж}$	$Q_{\text{пот}}, \text{Дж}$	$Q_{\text{ЭЭ}}, \text{Дж}$	$K = Q_{\text{пол}}/Q_{\text{пот}}$
2+2+2	2	0,33	1815	16246	18061	0,112
	3	0,48	2722	24380	27102	
	4	0,60	3629	32516	36145	
	5	0,68	4537	40653	45189	

На рисунке 2 представлена конечно-элементная модель процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений, состоящих из трех деталей

толщиной 2+2+2 мм из низкоуглеродистой стали с одним выштампованным рельефом на наружных пластинах. На основе анализа полученных осциллограмм перемещения (рисунок 3), скорости перемещения подвижного электрода контактной машины и электротермодеформационных картин процесса сварки было установлено пять этапов кинетики формирования соединений (рисунок 4). При этом для эффективного регулирования скорости деформирования рельефов ввод энергии в зону сварки целесообразно разделить как минимум на три этапа. На первом этапе общая деформация рельефов перед пропуском сварочного тока при приложении предварительного усилия сжатия к электродам определяется перемещением верхнего подвижного электрода и составляет 0,05–0,1 мм, что обеспечивает стабилизацию холодного электрического сопротивления контактов межэлектродной зоны. На втором этапе после включения сварочного тока наблюдается плавное увеличение деформации рельефов и перемещения подвижного электрода (не более 0,15–0,2 мм, что составляет 4–7% от первоначальной высоты рельефов), что объясняется тепловым расширением металла, уравнивающим процесс деформации рельефов. Металл зоны сварного соединения нагревается до температуры разупрочнения $T > 800$ К, что сопровождается ростом контактных площадок и удалением оксидных пленок из зоны сварки. При этом ускоряется активация контактных поверхностей.

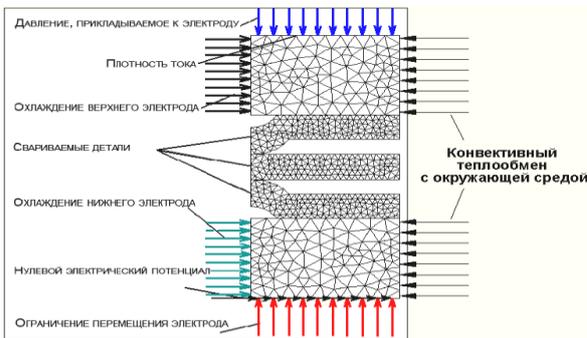


Рисунок 2. – Геометрия модели с граничными условиями

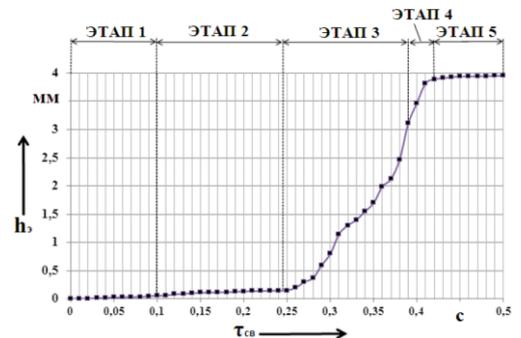
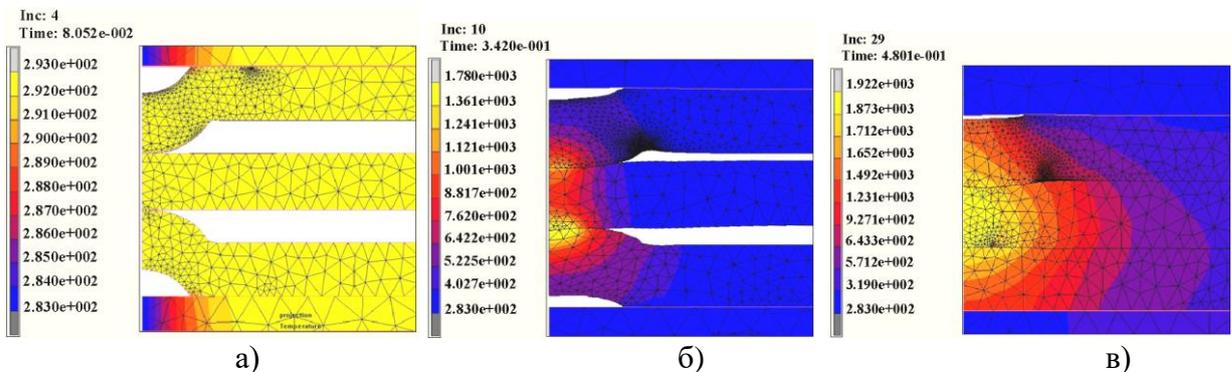


Рисунок 3. – Кривая перемещения подвижного электрода



а – на этапе предварительного сжатия деталей; б – через 0,24 с после включения сварочного тока; в – в момент выключения сварочного тока

Рисунок 4. – Распределение температурных полей и деформаций при формировании пакетных соединений

На третьем этапе появление и рост зон расплавления приводят к интенсивной пластической деформации рельефов. Начало данного этапа можно условно определить на основании осциллограммы скорости перемещения подвижного электрода, которая увеличивается до 35–65 мм/с. Процесс смятия рельефов сопровождается интенсивным ростом размеров контактных площадок. К концу этапа перемещение электрода достигает 3 мм, что составляет 93% от первоначальной суммарной высоты двух рельефов.

На четвертом этапе скорость перемещения подвижного электрода начинает резко снижаться до момента полной осадки рельефов на всю их высоту и касания поверхностей деталей, что является сигналом для выключения сварочного тока при условии введения в межэлектродную зону полной электрической энергии, согласно методике расчета.

На пятом этапе при проковке соединения протекают релаксационные процессы, уменьшающие остаточные напряжения в межэлектродной зоне.

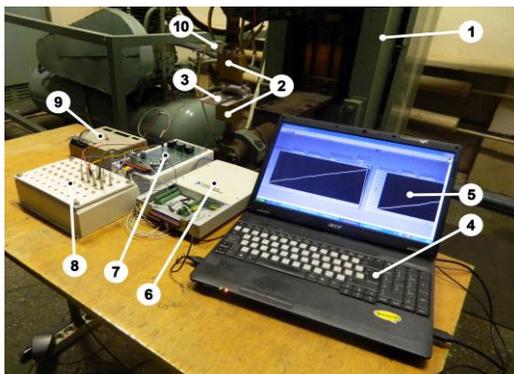
Для осуществления поэтапного ввода энергии в программной среде LABVIEW (далее LVW) специально для аналого–цифрового устройства сбора данных NATIONAL INSTRUMENTS USB–6251 (далее NI) разработан графический программный код, позволяющий реализовать процесс автоматического регулирования длительности протекания сварочного тока на основе задания, регистрации и анализа электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, при задании определенной формы импульса сварочного тока. Дискретность регистрации и анализа ввода электрической энергии в межэлектродную зону составляет 0,001 с. Быстродействие срабатывания регулятора цикла сварки от сигналов, формируемых графическим программным кодом и устройством NI, ограничивается быстродействием срабатывания регулятора цикла сварки (0,01 с), а также быстродействием срабатывания инерционного элемента – электромагнитного реле (0,005 с).

Программный код в процессе сварки генерирует низкоуровневые импульсы напряжения в диапазоне от 0,2 до 0,4 В для задания сварочного тока в диапазоне от $0,45I_{\text{MAX}}$ (нижний предел, обеспечиваемый сварочной машиной) до I_{MAX} , одновременно регистрирует сигналы напряжения, пропорционального сварочному току, и сигналы напряжения межэлектродной зоны, после чего в режиме реального времени осуществляется расчет сопротивления межэлектродной зоны, полной мощности и электрической энергии, вводимой в зону сварки. Вводимая энергия сравнивается с расчетными значениями, задаваемыми в программном коде, и по достижении суммарного расчетного значения программный код формирует на цифровом выходе устройства NI управляющий импульс напряжения, выключающий сварочный ток с помощью регулятора цикла сварки.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса контактной рельефной сварки (КРС) пакетных соединений с автоматическим регулированием параметров режима. Для проведения комплекса исследований нами была разработана экспериментальная установка (рисунок 5). Разработанная система автоматического управления процессом КРС (рисунок

б), содержащая контактную машину, управляемую от регулятора цикла сварки, датчик тока, экранированные кабели для замера напряжения, устройство сбора данных и устройство согласования сигналов, отличается от существующих систем управления процессами контактной сварки тем, что в ее основе использован графический программный код, реализующий процесс регулирования параметров режима сварки в связке с устройством согласования сигналов на базе операционных усилителей, причем программный код непосредственно в ходе КРС после регистрации устройством сбора данных быстротечных сигналов процесса дает возможность рассчитывать фактические значения электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону на каждом из трех этапов кинетики формирования соединения, и сравнивать их с заданными расчетными значениями, а затем вырабатывать управляющие импульсы напряжения, которые посредством устройства согласования способны корректировать начальные настройки регулятора цикла сварки, а именно, задавать амплитуду импульсов сварочного тока и регулировать длительность их протекания в режиме реального времени путем воздействия на тиристорный контактор сварочной машины. Это обеспечивает контролируемый ввод расчетного количества электрической энергии в межэлектродную зону с точностью 1–3 %.

С помощью системы автоматического управления процессом на базе разработанной методики теоретического расчета режимов сварки определено оптимальное соотношение параметров режима применительно к КРС пакетных соединений, состоящих из 3–5 деталей из низкоуглеродистой стали толщиной 2 мм с тремя выштампованными рельефами на верхней и нижней деталях пакета (таблица 2).



- 1 - контактная машина *MT-3201*; 1 - регулятор цикла сварки; 2 - электроды
 2 - электроды; 3 - пакетное соединение; сварочной машины; 3 - тиристорный
 4 - ЭВМ; 5 - интерфейс среды *LABVIEW*; контактор; 4 - датчик тока; 5 - экрани-
 6 - устройство сбора данных *NATIONAL* рованные кабели; 6 - плата сбора данных; 7 -
INSTRUMENTS USB-6251; 7 - устройство программная среда; 8 - ЭВМ; 9 - устройство
 согласования; 8 - распределительный блок; согласования; 10 - кабель управления; 11 -
 9 - источник питания датчика тока; свариваемые детали; 12 - литая зона
 10 - датчик тока *ДТПХ-32000*

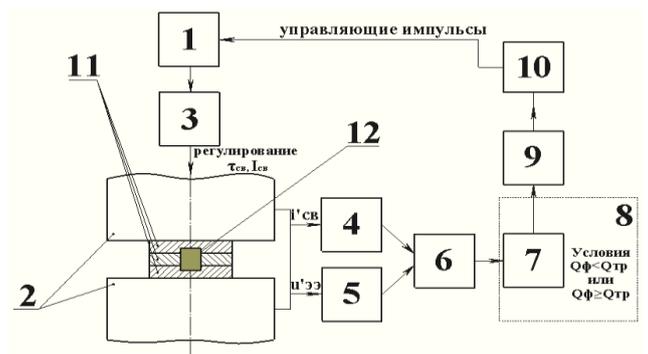


Рисунок 5 – Общий вид экспериментальной установки

Рисунок 6 – Система автоматического управления процессом рельефной сварки

Установлено на примере пакетов из трех деталей, что в процессе КРС увеличение усилия сжатия электродов относительно оптимального значения на 10% (в данном случае с 5,5 кН до 6,1 кН), обуславливаемое на производстве инерционностью привода контактной машины и изменением сетевого давления, приводит не только к падению сопротивления межэлектродной зоны в соответствии с теорией контактной сварки (в данном случае на 20–25%), но и к росту сварочного тока на 1–3%, а результирующим итогом изменения данных параметров является уменьшение электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, на 18–20%. Уменьшение усилия сжатия электродов относительно оптимального значения на 10% приводит к увеличению сопротивления межэлектродной зоны (в данном случае на 8–10%) с одновременным снижением сварочного тока (в данном случае на 3–4%), а результирующим итогом изменения данных параметров является также уменьшение электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, на 4–5% (рисунок 7, а).

Таблица 2 – Параметры режима КРС пакетных соединений пластин из низкоуглеродистой стали толщиной 2 мм

<i>n, шт</i>	<i>τ_{CB}, c</i>	<i>$F_{CB}, кН$</i>	<i>$Q_{ЭЭ}, Дж$</i>	<i>$R_{ЭЭ}, мкОм$</i>	<i>$I_{CB}, кА$</i>
2	0,33	4,5	18010	75	27
3	0,48	5,5	26979	80	26,5
4	0,6	6,1	36035	94	25,3
5	0,68	6,6	45110	109	24,7

Установлено на примере пакетов из четырех деталей, что в процессе КРС увеличение сварочного тока (в данном случае на 2,5–5 кА) относительно расчетного значения, обуславливаемое на производстве неточной настройкой регулятора цикла сварки оператором, приводит к увеличению крутизны нарастания импульса сварочного тока уже на первых пяти периодах сетевого напряжения, что увеличивает ввод электрической энергии в межэлектродную зону за это время на 25–30%, в результате чего рельеф деформируется преждевременно с возможностью выплеска расплавленного металла из зоны сварки и повышения тепловых потерь ввиду шунтирования тока по поверхностям деталей. Уменьшение сварочного тока относительно расчетного значения на 13–15% приводит к уменьшению суммарной электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону на 28–30%, и этой энергии недостаточно для полной деформации рельефа и его расплавления (рисунок 7, б).

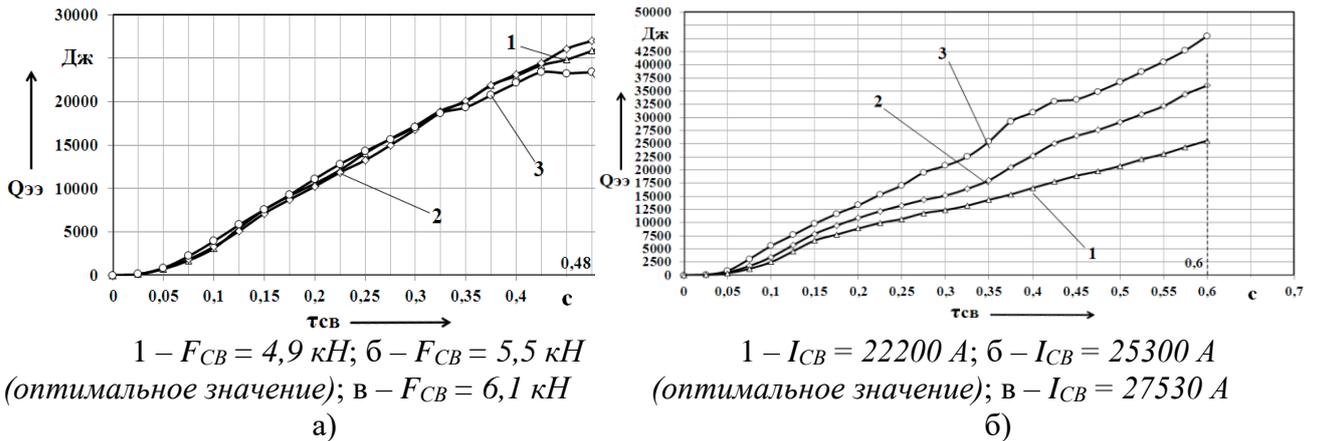


Рисунок 7. – Изменение количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, при изменении усилия сжатия электродов (а) и величины сварочного тока (б)

С целью выявления возможности повышения прочности пакетных сварных соединений, исходя из предположения, что наличие отверстий в центральной детали пакета между рельефами изменит характер ввода электрической энергии в межэлектродную зону, нами экспериментально было установлено, что наличие центровочных отверстий диаметром 2 мм увеличивает сопротивление межэлектродной зоны на 34–36% и уменьшает величину сварочного тока на 18–20% по сравнению со сваркой соединений без отверстий (в данном случае с 26,5 до 21,5 кА) (рисунок 8). Проведенные прочностные испытания и макрометаллография (рисунок 9) подтвердили, что прочность пакетного соединения на срез увеличилась на 13% в сравнении с аналогичным соединением без отверстия и без увеличения количества электрической энергии, вкладываемой в межэлектродную зону.

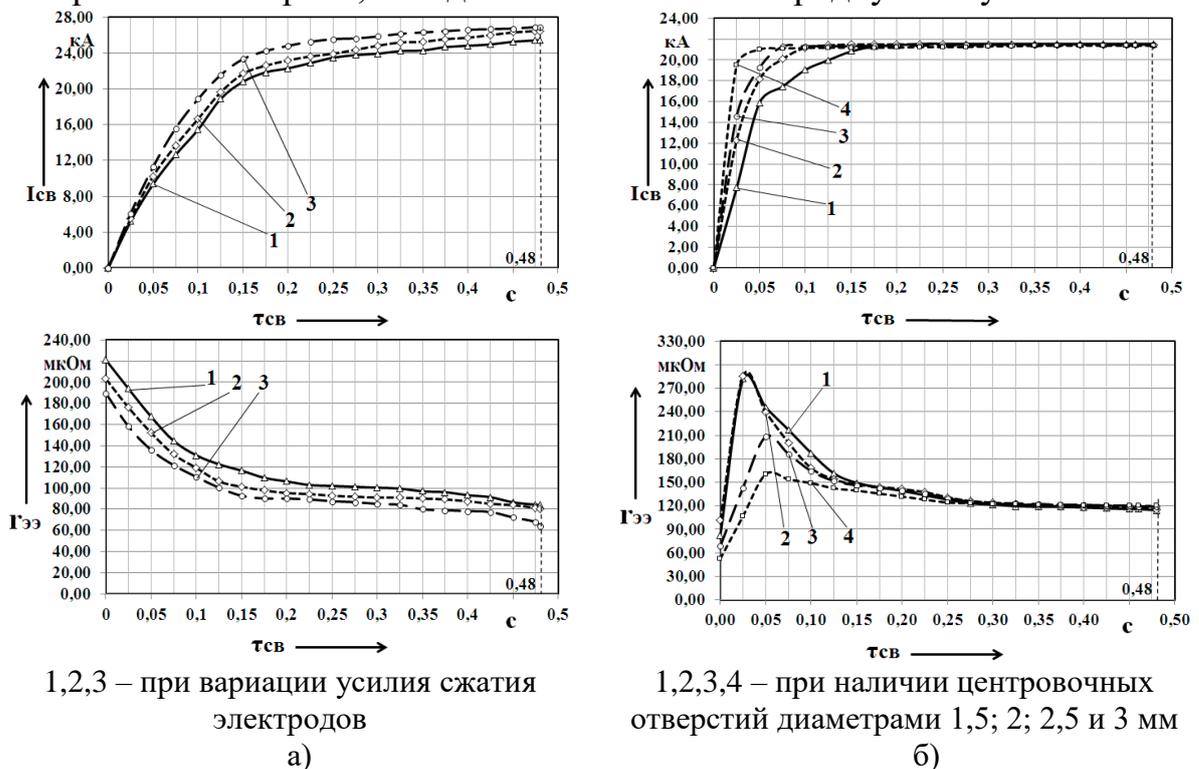
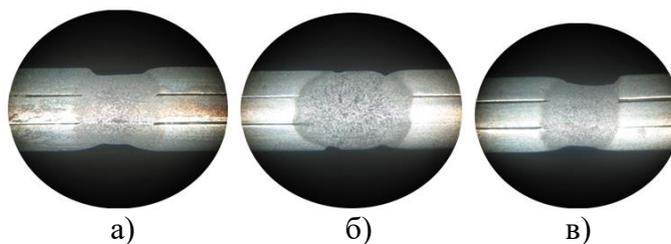


Рисунок 8. – Осциллограммы сварочного тока и сопротивления межэлектродной зоны при КРС пакетных соединений без центровочных под рельефы отверстий (а) и с ними (б)



а – $d_{\text{отв}}=1,5$ мм; б – $d_{\text{отв}}=2$ мм; в – $d_{\text{отв}}=2,5$ мм

Рисунок 9. – Макрошлифы пакетных соединений при КРС с центровкой рельефов по отверстиям

Четвертая глава посвящена разработке технологического процесса КРС пакетных соединений засовов замков сувальдных производства ОАО "Могилевский завод "Строммашина".

Было спроектировано приспособление (рисунок 10, а) и электродный узел (рисунок 10, б) для сборки и сварки засовов замков. Основным элементом приспособления является износостойкий фторопластовый позиционер (шаблон) 1 со шпильками 2, обеспечивающий высокую точность расположения стержней засова 3 при одновременной простоте их укладки в приспособление и съема готового изделия после сварки (рисунок 10). Базирование ригеля засова 4 с рельефами 5 относительно основания приспособления 6 обеспечивает магнитный фиксатор 7, встроенный с обратной стороны основания. Две направляющие планки 8 и упорная планка 9 в основании приспособления, обеспечивают высокую точность расположения ригеля относительно стержней в процессе сварки. Электроды из меди *М1* с конической поверхностью 3 устанавливались в электрододержатели. На электроды надевались насадки 1 из бронзы *БрХ*. Для верхнего и нижнего электродных узлов предусматривались накладки 2 из меди *М1*, обеспечивающие отсутствие залипания деталей засова к электродным узлам при сварке.

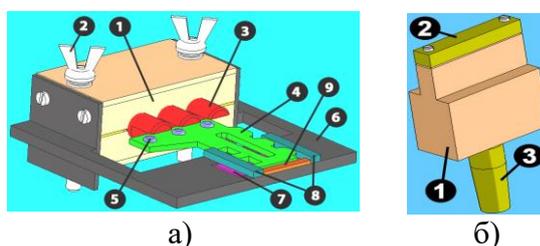


Рисунок 10 – Приспособление (а) и электродный узел (б) для заводской сборки и сварки пакетных соединений засовов замков

Параметры режима КРС засова рассчитывались по методике, разработанной нами в главе 2.

На основании анализа этапов кинетики формирования пакетного рельефного соединения и возможности автоматического регулирования электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, и скорости деформирования рельефов нами был предложен новый способ контактной точечной и рельефной сварки (рисунок 11), отличающийся от известных способов тем, что импульс сварочного тока задают многоступенчатым и длительность его протекания τ_{CB} при задаваемых значениях тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ на каждой из ступеней импульса находят по формуле $\tau_{CB} = \tau_{CB\phi 1} + \tau_{CB\phi 2} + \dots + \tau_{CB\phi n}$, где $\tau_{CB\phi 1}, \tau_{CB\phi 2}, \dots, \tau_{CB\phi n}$ – фактическая длительность протекания тока на каждой из ступеней его задания, которую определяют фактическим достижением суммарной величиной электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, требуемого значения, равного $Q_{ЭЭ} = Q_{TP1} + Q_{TP2} + \dots + Q_{TPn}$, где $Q_{TP1}, Q_{TP2}, \dots, Q_{TPn}$ – количество электрической энергии, необходимое для ввода в межэлектродную зону для значений тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ на каждой из ступеней его импульса.

Введение электрической энергии в межэлектродную зону осуществлялось системой автоматического управления процессом в три этапа в соответствии с предложенным способом сварки по следующему принципу: этап 1 и этап 3 – введение 5% от $Q_{ЭЭ}$ при сварочном токе, равном 50% от расчетного; этап 2 – введение 90% от $Q_{ЭЭ}$ при расчетном сварочном токе. При контактной рельефной сварке засовов замков это привело к повышению прочности сварных соединений на 13% при одновременной экономии на 35% электроэнергии, потребляемой контактной машиной.

Стабильность прочностных характеристик пакетных соединений засовов замков, полученных новым способом сварки, отражена на рисунке 12.



Рисунок 12. – Диаграмма прочностных испытаний рельефных пакетных соединений (P_{CP} – усилие разрушения при испытании на срез)

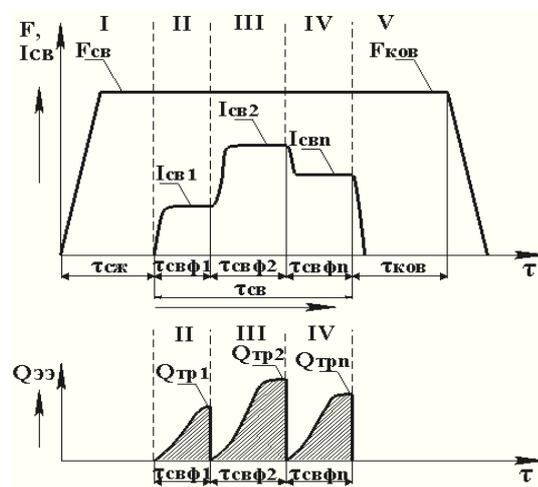


Рисунок 11 – Циклограмма предложенного способа сварки

Технологический процесс КРС пакетных соединений засовов замков внедрен на ОАО "Могилевский завод "Строммашина" взамен штамповки. Годовой экономический эффект составил 42523524 руб. в ценах 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые разработана и научно обоснована методика теоретического расчета количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, величины сварочного тока и длительности его протекания для КРС пакетных нахлесточных соединений из низкоуглеродистой стали толщиной от 1 до 5 мм с количеством деталей в пакете от 3 до 5 штук при сварке по нескольким рельефам, которая основана на подобию процессов введения электрической энергии в межэлектродную зону при увеличении количества одновременно свариваемых деталей в пакете, а также учете теплофизических свойств материала, геометрических параметров сварного соединения, количества и формы рельефов [2–А, 3–А, 6–А, 18–А, 20–А].

2. Впервые на основе конечно–элементного моделирования термомодеформационного процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений толщиной 2+2+2 мм из низкоуглеродистой стали с одним выштампованным рельефом на наружных пластинах, установлено, что для эффективного регулирования скорости деформирования рельефов ввод электрической энергии в зону сварки необходимо разделять на три этапа. На первом этапе после включения сварочного тока требуется обеспечивать минимальный ввод электрической энергии в межэлектродную зону для стабилизации контактных сопротивлений, равномерного роста контактных площадок, плавного увеличения скорости деформации рельефов и перемещения подвижного электрода, что является условием предотвращения начального выплеска. На втором этапе при максимальном сварочном токе требуется обеспечивать максимальный ввод электрической энергии в межэлектродную зону для интенсивной пластической деформации рельефов и появления зон расплавления. На третьем этапе требуется уменьшать сварочный ток для снижения скорости перемещения подвижного электрода до момента полной осадки рельефов на всю их высоту и касания поверхностей деталей, что является сигналом для выключения сварочного тока [1–А, 6–А, 10–А, 15–А, 17–А, 21–А].

3. Установлено, что в процессе КРС пакетных соединений увеличение усилия сжатия электродов относительно оптимального значения на 10%, приводит к падению сопротивления межэлектродной зоны, росту сварочного тока и, в результате, к уменьшению электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, на 18–20%. Уменьшение усилия сжатия электродов на 10% приводит, соответственно, к увеличению сопротивления межэлектродной

зоны, снижению сварочного тока и, в результате, к уменьшению электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, на 4–5% [3–А].

Установлено также, что увеличение сварочного тока на 8–10% относительно расчетного значения, приводит к увеличению крутизны нарастания импульса сварочного тока на первых пяти периодах сетевого напряжения, что увеличивает ввод электрической энергии в межэлектродную зону за это время на 25–30%, в результате чего рельеф деформируется преждевременно с возможностью выплеска расплавленного металла из зоны сварки и преждевременного шунтирования тока по поверхностям деталей. Уменьшение сварочного тока относительно расчетного значения на 13–15% приводит к уменьшению суммарной электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, на 28–30%, недостаточной для полной деформации и расплавления рельефов [3–А].

Установлено, что при КРС пакетных соединений наличие центровочных отверстий диаметром 2 мм в центральной пластине между рельефами увеличивает сопротивление межэлектродной зоны на 34–36% и уменьшает величину сварочного тока на 18–20% в сравнении со сваркой аналогичных соединений без центровочных отверстий. Прочность пакетных соединений на срез при наличии отверстий увеличивается на 13% при одинаковом количестве электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону [14–А].

4. С целью автоматического регулирования количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, и скорости деформирования рельефов разработан новый способ контактной точечной и рельефной сварки, отличающийся тем, что импульс сварочного тока задают многоступенчатым и длительность его протекания τ_{CB} при задаваемых значениях тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ на каждой из ступеней импульса находят по формуле $\tau_{CB} = \tau_{CB\phi1} + \tau_{CB\phi2} + \dots + \tau_{CB\phi n}$, где $\tau_{CB\phi1}, \tau_{CB\phi2}, \dots, \tau_{CB\phi n}$ – фактическая длительность протекания тока на каждой из ступеней его задания, которую определяют фактическим достижением суммарной величиной электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, требуемого значения, равного $Q_{ЭЭ} = Q_{TP1} + Q_{TP2} + \dots + Q_{TPn}$, где $Q_{TP1}, Q_{TP2}, \dots, Q_{TPn}$ – количество электрической энергии, необходимое для ввода в межэлектродную зону для значений тока $I_{CB1}, I_{CB2}, \dots, I_{CBn}$ на каждой из ступеней его импульса [5–А, 16–А, 24–А, 25–А].

Для реализации данного способа разработан графический программный код имитации процесса автоматического регулирования параметров режима КРС, позволяющий регистрировать быстротечные сигналы датчиков тока и напряжения, рассчитывать фактические значения электрической энергии, вкладываемой в межэлектродную зону на трех основных этапах, и сравнивать их с заданными расчетными значениями, а затем вырабатывать управляющие сигналы напряжения для задания амплитуды сварочного тока и длительности его протекания в режиме реального времени путем воздействия на регулятор цикла сварки. Это обеспечивает контролируемый ввод расчетного количества электрической энергии в межэлектродную зону с точностью 1–3 % [2–А, 4–А, 7–А, 8–А, 9–А, 11–А, 12–А, 13–А, 17–А, 19–А, 22–А, 23–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Предложен новый способ контактной точечной и рельефной сварки, который рекомендуется применять для получения пакетных соединений из 3–5 деталей из тонколистового металла (низкоуглеродистая, низколегированная сталь) толщиной от 1 до 5 мм при производстве кузовов автомобилей, замочно-скобяных изделий, железобетонной арматуры, электротехнических изделий.

2. Разработана и защищена патентом РБ на полезную модель система автоматического управления, в основе которой использован графический программный код имитации процесса регулирования параметров режима точечной и рельефной сварки в программной среде *LABVIEW*, позволяющий с помощью устройства сбора данных, датчиков тока и напряжения и устройства согласования сигналов рассчитывать фактические значения вводимой в межэлектродную зону энергии, сравнивать их с расчетными значениями, а затем в режиме реального времени корректировать начальные настройки регулятора машины для контактной сварки.

3. Разработан и внедрен в производство технологический процесс контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков сувальдных, повышающий их прочность на 13% при экономии электроэнергии, потребляемой контактной машиной, на 35% относительно рекомендуемых в технической литературе режимов (ОАО "Могилевский завод "Строммашина"). Годовой экономический эффект от внедрения 42523524 руб. в ценах 2014 г.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи:

1. Поляков, А.Ю. О формировании ступенчатых соединений при контактной рельефной сварке / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2011. – №4. – с. 62–69.

2. Поляков, А.Ю. Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, В.П. Березиенко, С.И. Лялихов // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2012. – № . – с. 67–77.

3. Поляков, А.Ю. Методика расчета параметров режима рельефной сварки пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Вестник Донбасской машиностроительной академии. – Краматорск – 2012. – № 3. – с. 226–231.

4. Поляков, А.Ю. Система автоматического управления процессом контактной рельефной сварки / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2013. – № 4. – с. 75–84.

5. Поляков, А.Ю. Разработка технологического процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков / А.Ю. Поляков // Вестник Белорусско–Российского университета. – 2014. – №3. – с. 56–67.

6. Поляков, А.Ю. Оптимизация количества энергии, вводимой в зону рельефной сварки ступенчатых соединений / А.Ю. Поляков, С. М. Фурманов, Т. И. Бендик // Материалы 5-го межд. науч.-техн. семинара "Технологии дуговой и контактной сварки в современной промышленности". – Санкт-Петербург, 16–18 мая 2012, с. 40–45.

Материалы конференций:

7. Курлович, И.В. Управление размерами литого ядра при контактной точечной сварке / И.В. Курлович, А.Ю. Поляков // Материалы 6-ой межрег. науч.-техн. конф. – Смоленск, 2009, с. 73–76.

8. Поляков, А.Ю. Контроль параметров процесса контактной точечной и рельефной сварки // А.Ю. Поляков, И.В. Курлович / Материалы 45-ой студенч. науч.-техн. конф. – Могилев, 18 – 22 мая 2009. – с. 171.

9. Курлович, И.В. Управление качеством рельефной сварки по скорости перемещения верхнего электрода // И.В. Курлович, А.Ю. Поляков / Материалы 45-ой студенч. науч.-техн. конф. – Могилев, 18–22 мая 2009. – с. 112.

10. Поляков, А.Ю. О взаимосвязи параметров режима контактной рельефной сварки и характеристик перемещения подвижного электрода / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 19–20 ноября 2009. – с. 58.

11. Курлович, И.В. Программное управление регулятором цикла сварки / И.В. Курлович, А.Ю. Поляков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 19–20 ноября 2009. – с. 54.

12. Фурманов, С.М. R–U – характеристики свариваемых контактов при точечной и рельефной сварке / С.М. Фурманов, И.В. Курлович, А.Ю. Поляков // Материалы межд. науч.-техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 22–23 апреля 2010, с. 43.

13. Курлович И.В. Определение динамических характеристик контактных сопротивлений при точечной сварке в среде LABVIEW / И.В. Курлович, А.Ю. Поляков / Материалы X межд. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов "Исследование и разработки в области машиностроения, энергетики и управления". – Гомель, 29–30 апреля 2010. – с. 107–110.

14. Поляков, А.Ю. О формировании соединений при рельефной сварке пакета по схеме рельеф–пластина–рельеф / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 18–19 ноября 2010. – с. 75.

15. Поляков, А.Ю. Об особенностях формирования ступенчатых соединений при рельефной сварке / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов // Материалы межд. науч.-техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 21–22 апреля 2011, с. 242.

16. Фурманов, С.М. О деформации поверхностей деталей при точечной сварке с применением электрода с увеличенной площадью контакта / С.М. Фурманов, А.Ю. Поляков // Материалы межд. науч.–техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 21–22 апреля 2011, с. 244.

17. Поляков, А.Ю. О внешнем управлении параметрами режима контактной рельефной сварки / А.Ю. Поляков, Н.М. Михайлова // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 17–18 ноября 2011. – с. 125.

18. Поляков, А.Ю. О расчете параметров режима рельефной сварки пакетных соединений / А. Ю. Поляков, С. М. Фурманов, В. П. Березиенко // Материалы межд. науч.–техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 19–20 апреля 2012. – с. 196–197.

19. Поляков А.Ю. Об автоматическом регулировании мощности и энергии при рельефной сварке пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, В.П. Березиенко // Материалы межд. науч.–практ. конф. "Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино– и приборостроении". – Минск, 11 апреля 2012. – с. 151–152.

20. Поляков, А.Ю. Методика расчета параметров режима рельефной сварки пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Т.И. Бендик // Материалы III–ей межд. науч.–техн. конф. "Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития". – Украина, Краматорск, ДГМА, 02–05 октября 2012. – с. 68–69.

21. Поляков, А.Ю. Способы обеспечения требуемой прочности пакетного рельефного соединения / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 30–31 октября 2012. – с. 89.

22. Фурманов, С.М. Система внешнего управления регулятором РКС–801 при рельефной сварке пакетных соединений / С.М. Фурманов, А.Ю. Поляков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 30–31 октября 2012. – с. 91.

23. Поляков, А.Ю. Система автоматического управления регулятором контактной сварки в программной среде LABVIEW / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов // Материалы межд. науч.–техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 18–19 апреля 2013. – с. 181–182.

24. Поляков, А.Ю. Разработка технологического процесса контактной рельефной сварки засова замка сувальдного / А.Ю. Поляков, С.С. Кораткевич // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы межд. конф. молодых ученых. – Могилев, 30–31 октября 2013. – с. 96.

25. Поляков, А.Ю. О выборе циклограммы тока при контактной рельефной сварке пакетных соединений / А.Ю. Поляков, С.М. Фурманов, Р.Г. Худoley // Материалы межд. науч.–техн. конф. "Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии". – Могилев, 24–25 апреля 2014. – с. 192–193.

РЕЗЮМЕ

Контактная рельефная сварка пакетных соединений с автоматическим регулированием параметров режима

Поляков Андрей Юрьевич

Ключевые слова: контактная рельефная сварка, пакетное соединение, критерий технологического подобия, кинетика формирования соединения, автоматическое регулирование, ступенчатое задание тока, фиксированное введение энергии, прочность соединения, экономия электроэнергии.

Объект исследования: пакетные соединения, выполняемые контактной рельефной сваркой.

Цель работы: разработать способ контактной рельефной сварки за один цикл соединений, состоящих из трех и более деталей, обеспечивающий их прочность на основе автоматического регулирования количества электрической энергии, вводимой в межэлектродную зону, а также создать новые средства регулирования тепловложения для решения прикладных задач по снижению себестоимости изготовления сварных конструкций.

Впервые разработана методика определения основных параметров режима контактной рельефной сварки пакетных соединений, отличающаяся от существующих методик расчета, применимых к процессу контактной точечной сварки соединений из двух деталей, использованием критерия технологического подобия как отношения энергии, затрачиваемой на плавление центрального столбика металла зоны сварки, к энергии тепловых потерь.

С помощью математического моделирования процесса контактной рельефной сварки пакетных соединений определены три этапа ввода энергии в зону соединения в соответствии с особенностями деформирования рельефов.

Впервые разработан способ автоматического регулирования длительности протекания сварочного тока на основе его ступенчатого задания и поэтапного введения в зону сварки определенного количества электрической энергии до достижения заданного расчетного значения полной энергии, позволяющий в режиме реального времени корректировать начальные настройки регулятора машины для контактной сварки.

Разработаны составные электродные узлы, приспособление и установка для автоматического управления регулятором цикла сварки, позволяющие осуществить технологический процесс контактной рельефной сварки пакетных соединений засовов замков дверных производства ОАО "Могилевский завод "Строммашина" с повышением их прочности при экономии электроэнергии, потребляемой контактной машиной.

РЭЗІЮМЭ

Кантактная рэльефная зварка пакетных злучэнняў з аўтаматычным рэгуляваннем параметраў рэжыму

Палякаў Андрэй Юр'евіч

Ключавыя словы: кантактная рэльефная зварка, пакетнае злучэнне, крытэрыі тэхналагічнага падабенства, кінетыка фарміравання злучэння, аўтаматычнае рэгуляванне, прыступкавае заданне току, фіксаванае ўвядзенне энергіі, трываласць злучэння, эканомія электраэнергіі.

Аб'ект даследавання: пакетныя злучэння, якія выконваюцца кантактнай рэльефнай зваркай.

Мэта працы: распрацаваць спосаб кантактная рэльефнай зваркі за адзін цыкл злучэнняў, якія складаюцца з трох і больш дэталей, які забяспечвае іх трываласць на аснове аўтаматычнага рэгулявання колькасці электрычнай энергіі, укладваемай у межэлектродную зону, а таксама стварыць новыя сродкі рэгулявання увядзення цяпла для вырашэння прыкладных задач па зніжэнні сабекошту вырабу зварных канструкцый.

Упершыню распрацавана метадыка вызначэння асноўных параметраў рэжыму кантактнай рэльефнай зваркі пакетных злучэнняў, адрозная ад існуючых метадык разліку, прыдатных да працэсу кантактнай кропкавай зваркі злучэнняў з двух дэталей, выкарыстаннем крытэрыя тэхналагічнага падабенства як адносін энергіі, якая выдаткоўваецца на плаўленне цэнтральнага слупка металу зоны зваркі, да энергіі цеплавых страт.

З дапамогай матэматычнага мадэлявання працэсу кантактнай рэльефнай зваркі пакетных злучэнняў вызначаны тры этапы ўводу энергіі ў зону злучэння ў адпаведнасці з асаблівасцямі дэфармавання рэльефаў.

Упершыню распрацаваны спосаб аўтаматычнага рэгулявання працягласці праходжання зварачнага току на аснове яго ступеністага задання і паэтапнага ўвядзення ў зону зваркі пэўнай колькасці электрычнай энергіі да дасягнення зададзенага разліковага значэння поўнай энергіі, які дазваляе ў рэжыме рэальнага часу карэктаваць пачатковыя налады рэгулятара машыны для кантактнай зваркі.

Распрацаваны складовыя электродныя вузлы, прыстасаванне і ўстаноўка для аўтаматычнага кіравання рэгулятарам цыкла зваркі, які дазваляюць ажыццявіць тэхналагічны працэс кантактнай рэльефнай зваркі пакетных злучэнняў засоваў замкоў дзварных вытворчасці ААТ "Магілеўскі завод "Строммашына" з павышэннем іх трываласці пры эканоміі электраэнергіі, якую патрабуе кантактная машына.

SUMMARY

Projection welding packet connections with automatic control mode parameters

Andrew Polyakov

Keywords: projection welding, packet connection, criteria of technological similarity, the kinetics of formation of the compound, automatic control, a step the current demand, a fixed energy introduction, connection strength, saving electricity.

Object of study: packet connections made projection welding.

Objective of work: to develop a method of contact projection welding for one cycle compounds consisting of three or more parts, providing their stability on the basis of automatic regulation control of the amount of electrical energy input in the electrode area, as well as create new means for controlling the heat input for applications to reduce the cost welded structures.

Following the aforementioned problems for the first time was developed the technique of determining the main parameters of the contact mode projection welding packet compounds differs from the existing calculation methods applicable to the process of resistance spot welding joints of two parts, using the criteria of technological similarity as the ratio of energy consumed for melting of the central column of metal welding zone, to thermal energy losses.

With the help of mathematical modeling of the projection welding packet connections identified three stages of energy input into the zone of the connections according to the characteristics of deformation reliefs.

Moreover a method of automatic control of the duration of the welding current flowing through a step current demand and a fixed energy introduction into the weld zone defined amount of electrical energy to achieve a desired design value of the total energy, allowing real-time to adjust the initial setting of the resistance welding machine.

As a result composite electrode assemblies, as well as fixture and apparatus for automatic control of the welding cycle regulator, allowing for a process of projection welding packet connections of the door locks by Mogilev Plant OAO "Strommashina" production with enhance their strength and saving electricity consumed contact machine.