

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического
оборудования

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование влияния усилия прижатия деталей при
контактной сварке на качество сварных соединений

Студент

Т.В. Важенцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

Доцент, К.В. Моторин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	3
1 Сущность процесса контактной сварки	5
1.1 Контактная сварка.....	5
1.2 Анализ параметров контактной сварки	14
1.3 Анализ публикаций по теме.....	17
1.4 Анализ англоязычных источников.....	26
1.5 Патентный поиск.....	43
2 Планирование эксперимента.....	51
2.1 Методика проведения эксперимента по измерению усилия прижатия при точечной контактной сварке.....	51
2.2 Составление тарировочного графика.....	57
2.3 Методика проведения эксперимента	57
3 Экспериментальная часть.....	61
3.1 Проведение эксперимента.....	61
4 Обработка результатов эксперимента.....	71
4.1 Визуально измерительный контроль образцов.....	71
4.2 Испытание образцов на прочность.....	78
4.3 Анализ полученных данных.....	96
Заключение	101
Список используемой литературы и источников	103

Введение

Контактная сварка — один из распространенных способов получения неразъемных соединений. Этот вид сварки быстро развивается и постоянно совершенствуется, может применяться для сварки разнообразных конструкционных материалов разных толщин и сечений. В настоящее время с помощью контактной сварки выполняется около 40% всех сварных соединений. Контактная сварка является неотъемлемой частью производства в автомобильной промышленности, электронике, а также может использоваться для сварки трубопроводов [1].

В процессе контактной сварки, влияние на полученное сварное соединение оказывают несколько параметров. Основными параметрами является величина тока сварки, время сварки и усилие прижатия деталей. Очевидно, что усилие прижатия оказывает влияние на сопротивление в месте контакта свариваемых деталей. Однако в литературе встречается информация о том, что при увеличении усилия сжатия, при условии сохранения размеров ядра неизменными, прочность полученного соединения возрастает. В данной работе внимание будет акцентировано на усилии прижатия. Необходимо определить влияние усилия прижатия на прочность сварного соединения. Будет ли повышаться качество сварного соединения линейно или только до определенного момента, а потом спадать. Предполагается, что увеличение усилия сжатия электродов в определенный приведет к снижению сопротивления в зоне контакта деталь-электрод.

Актуальность данной темы обусловлена возможностью оптимизировать существующие процессы на производствах, использующих контактную сварку. Возможно, результаты данной магистерской диссертации позволят улучшить качество сварного соединения при контактной сварке за счет варьирования усилия сжатия электродов. Позволит определить предельные допустимые значения усилия сжатия, а также компенсировать недостаточную мощность оборудования. Например, подобрать необходимое

усилие прижатия при невозможности сварочного оборудования обеспечить необходимую силу сварочного тока или время протекания тока без ущерба для прочности соединения. Таким образом можно снизить количество брака на производстве, а также избежать покупки нового дорогостоящего оборудования, что принесет значительную финансовую выгоду производителям в нынешней непростой экономической ситуации как в России, так и во всем мире.

Для этого необходимо проанализировать статьи из научно-технических журналов по тематике контактной сварки. Поскольку в них могут быть представлены инновационные устройства и новейшие исследования в области контактной точечной сварки, еще не получившие огласку в книгах и учебниках по сварке. Также необходимо проанализировать формулу Джоуля-Ленца, так как она описывает количество теплоты в месте сварки и представляет необходимые параметры сварки для качественного проплавления металла. Изучить статьи зарубежных авторов на предмет исследований в данной области. Изучить существующие патенты в области контактной сварки и усилия сжатия электродов, в частности.

Для получения практических результатов, подтверждающих либо опровергающих выдвинутую теорию, необходимо спланировать, а затем провести эксперимент. В ходе которого нужно произвести сварку нескольких образцов с разным усилием сжатия электродов, а после испытать образцы на прочность с помощью разрывной машины.

Цель работы – определение влияния усилия сжатия электродов на прочность сварного соединения.

1 Сущность процесса контактной сварки

1.1 Контактная сварка

«Контактная сварка — это процесс образования неразъемных соединений конструкционных материалов в результате их кратковременного нагрева электрическим током и пластического деформирования усилием сжатия. Соединение свариваемых деталей происходит также, как и при других способах сварки - путем образования межатомных связей в зоне контакта деталей» [1].

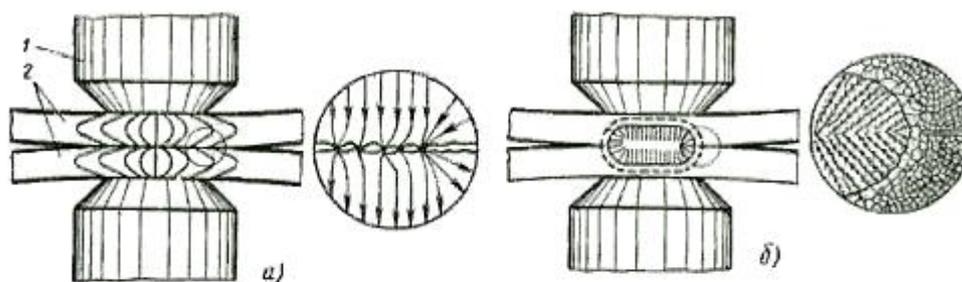
Способы контактной сварки можно классифицировать по нескольким признакам:

- 1) «по технологическому способу получения соединений — точечная, рельефная, шовная, стыковая;» [1].
- 2) «по конструкции соединения (нахлесточное или стыковое);» [1].
- 3) «по способу подвода тока — односторонняя и двусторонняя;» [1].
- 4) «по роду сварочного тока и форме импульса тока (переменный - промышленной, повышенной и пониженной частоты; постоянный и т.д.)» [1].

В данной работе рассматривается контактная точечная сварка. При этом способе детали собирают внахлест, сжимают с определенным усилием медными электродами ($F_{св}$). К электродам, в свою очередь, подключен источник питания (например, сварочный трансформатор, выпрямитель, инвертор и т.д.). «Из-за кратковременного прохождения сварочного тока ($I_{св}$) через участок электрод—электрод детали нагреваются вплоть до образования зоны совместного взаимного расплавления деталей, называемой ядром. Благодаря необходимому усилию прижатия в точке сварки - нагрев зоны сварки сопровождается пластической деформацией металла, необходимой для лучшего перемешивания расплавленного металла в сварной точке. После прекращения подачи питания расплавленный металл ядра быстро

кристаллизуется, в результате чего образуются металлические связи между соединяемыми деталями» [1-6].

Схема процесса контактной точечной сварки изображена на рисунке 1.1.



- а) — нагрев металла током на участке электрод–электрод;
б) — кристаллизация металла ядра после прекращения подачи сварочного тока

Рисунок 1.1 – Схема процесса точечной сварки

Контактная сварка впервые была применена Уильямом Томсоном в 1856 г, а в 1877 г. в США контактная стыковая сварка была внедрена в промышленность. «В том же 1877 г. в России Н.Н.Бенардос предложил способы контактной точечной и шовной (роликовой) сварки. На промышленную основу в России контактная сварка была поставлена в 1936 г. после освоения серийного выпуска контактных сварочных машин» [2].

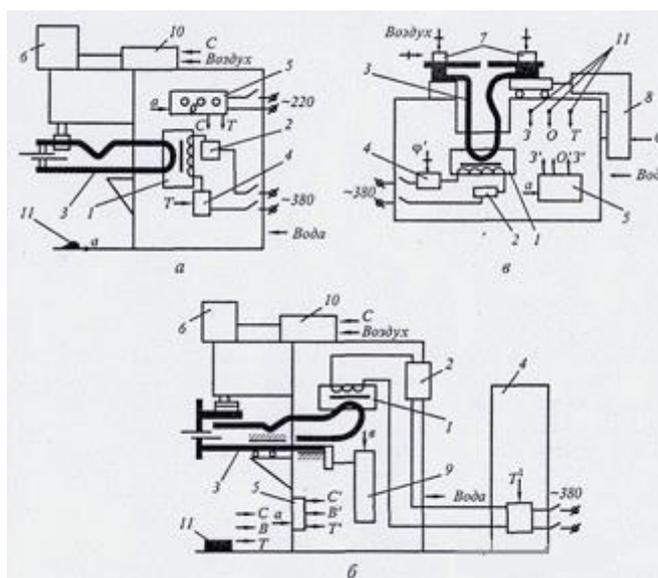
Преимущества контактной сварки перед другими способами:

- «высокая производительность (время сварки одной точки или стыка составляет 0,02... 1,0 с);» [2].
- «малый расход вспомогательных материалов (воды, воздуха);» [2].
- «высокое качество и надежность сварных соединений при небольшом числе управляемых параметров режима, что снижает требования к квалификации сварщика;» [2].

- «экологически чистый процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации» [2].

Машины для контактной сварки бывают стационарными, передвижными и подвесными (сварочные клещи). По роду тока в сварочном контуре могут быть машины переменного или постоянного тока от импульса тока, выпрямленного в первичной цепи сварочного трансформатора или от разряда конденсатора. По способу сварки различают машины для точечной, рельефной, шовной и стыковой сварки.

«Любая машина для контактной сварки состоит из электрической и механической частей, пневмо- или гидросистемы и системы водяного охлаждения» (рис.1.2) [2].



1 - трансформатор; 2 - переключатель ступеней; 3 - вторичный сварочный контур; 4 - прерыватель первичной цепи; 5 - регулятор; 6 - привод сжатия; 7 - привод зажатия деталей; 8 - привод осадки деталей; 9 - привод вращения роликов; 10 - аппаратура подготовки; 11 - орган включения.

Рисунок 1.2 - Типовые схемы машин для контактной точечной (а), шовной (б) и стыковой (в) сварки

«Электрическая часть включает в себя силовой сварочный трансформатор (1) с переключателем ступеней (2) его первичной обмотки, с помощью которого регулируют вторичное напряжение, вторичный сварочный контур (3) для подвода сварочного тока к деталям, прерыватель (4) первичной цепи сварочного трансформатора (1) и регулятор (5) цикла сварки, обеспечивающий заданную последовательность операций цикла и регулировку параметров режима сварки» [2].

«Механическая часть состоит из привода сжатия (6) точечных и шовных машин, привода (7) зажатия деталей и привода (8) осадки деталей стыковых машин. Шовные машины снабжены приводом (9) вращения роликов.» [2].

«Пневмогидравлическая система состоит из аппаратуры (10) подготовки (фильтры, лубрикаторы, которые смазывают движущиеся части), регулирования (редукторы, манометры, дросселирующие клапаны) и подвода воздуха к приводу (6) (электропневматические клапаны, запорные вентили, краны, штуцера)» [2].

«Система водяного охлаждения включает в себя штуцера разводящей и приемной гребенок, охлаждаемые водой полости в трансформаторе (1) и вторичном контуре (3), разводящие шланги, запорные вентили и гидравлические реле, отключающие машину, если вода отсутствует или ее мало» [2].

«Все машины снабжены органом включения (11). У точечных и шовных машин это ножная педаль с контактами, у стыковых - это комплект кнопок. С органов управления поступают команды на сжатие "С" электродов или зажатие "З" деталей, на включение "Т" и отключение "О" сварочного тока, на вращение "В" роликов, на включение "а" регулятора цикла сварки. Эти команды отрабатываются соответствующими блоками машины, обеспечивая выполнение операций цикла сварки» [2].

Кроме универсальных применяются специальные машины, приспособленные для сварки конкретных конструкций и типов размеров

изделий. Примером могут служить машины для контактной точечной сварки кузовов автомобилей, встроенные в автоматические линии, машины для стыковой сварки оплавлением продольных швов труб в прокатном производстве.

«Электроды в контактной сварке служат для замыкания вторичного контура через свариваемые детали. Кроме этого, при шовной сварке электроды-ролики перемещают свариваемые детали и удерживают их в процессе нагрева и осадки» [2].

«Важнейшая характеристика электродов - стойкость, способность сохранять исходную форму, размеры и свойства при нагреве рабочей поверхности до температуры 600°C и ударных усилиях сжатия до 5 кг/мм^2 . Электроды для точечной сварки — это быстроизнашивающийся сменный инструмент сварочной машины» [2]. Для изготовления электродов используют медь и жаропрочные медные сплавы – бронзы, такие как: БрХЦрА; кадмиевая БрКд1; хромистая БрХ; бронза, БрНТБ, БрКН-1-4, также материал, применяемый для изготовления электродов должен обладать достаточно высокой электропроводностью и теплопроводностью, чтобы снизить нагрев электродов в процессе сварки и снизить их износ. Температура разупрочнения бронз не превышает 0,5 их температуры плавления, а рабочая поверхность электрода нагревается до 0,6 $T_{\text{пл}}$. При таких условиях электродные бронзы относительно быстро разупрочняются. Повысить износостойкость электродов можно, используя технологические факторы. При сварке черных металлов стойкость электродов можно повысить в 3...4 раза только за счет сферической заточки электрода и снижения темпа сварки до 40...60 точек в минуту.

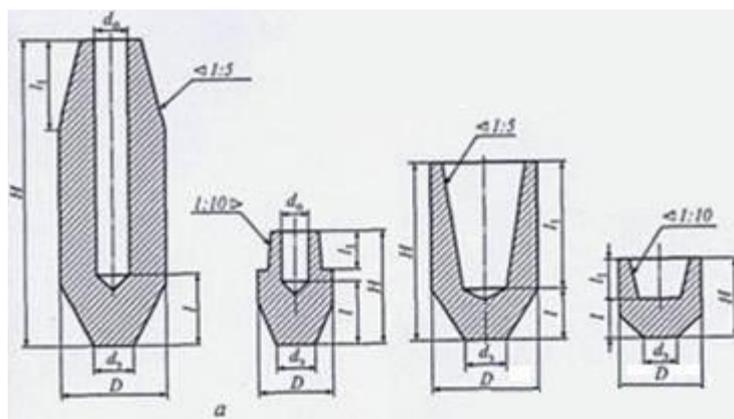


Рисунок 1.3 - Схемы электродов для точечной сварки: а - с наружным посадочным конусом; б - колпачковых

«Электрод должен иметь минимальную массу, удобно и надежно устанавливаться на сварочной машине. Диаметр D должен обеспечивать устойчивость электрода против изгиба при сжатии его усилием сварки, а также возможность захвата инструментом для снятия. Внутренний диаметр должен обеспечивать ввод трубки с охлаждающей водой и выход воды, обычно $d_0 = 8$ мм. Длина конусной части для крепления электрода в свече машины $l_1 \leq 1,2 D$. Угол конусности 1:10 при $D < 25$ мм и 1 : 5 при $D > 32$ мм. Диаметр рабочей части электрода выбирают в зависимости от толщины кромок свариваемых деталей $d_1 = 3S$ » [1]. Стойкость электродов с наружным посадочным конусом (рис. 1.3) обычно не превышает 20 000 циклов сварки. Стойкость колпачковых электродов (рис. 1.3) с внутренним посадочным конусом достигает 100 000 циклов сварки из-за лучших условий охлаждения. Для сварки деталей сложной конфигурации в труднодоступных местах применяют фигурные электроды.

«При подготовке поверхностей к контактной сварке должны выполняться три основных требования: в контактах электрод-деталь должно быть обеспечено как можно меньшее электрическое сопротивление $K_{э-д} \rightarrow \min$), в контакте деталь-деталь сопротивление должно быть одинаковым по

всей площади контакта. Сопрягаемые поверхности деталей должны быть ровными, плоскости их стыка при сварке должны совпадать» [2].

Выбор конкретного способа подготовки поверхностей определяется материалом деталей, исходным состоянием их поверхностей, характером производства. При небольшом объеме производства перед процессом сварки выполняются операции правки, рихтовки, обезжиривания, травления или зачистки, механической обработки.

Критерием качества подготовки поверхности является величина контактных сопротивлений $R_{э-д}$ и $R_{д-д}$. Для их измерения детали зажимают между электродами сварочной машины, но сварочный ток не включают. Сопротивление измеряют микроомметром при помощи щупов. Для сталей сопротивление более 200 мкОм свидетельствует о плохом качестве поверхности. Высокое $R_{э-д}$ приводит к перегреву электродов и подплавлению поверхности деталей, вследствие чего происходит наружный и внутренний выплеск металла и образуется чрезмерная вмятина под электродами.

Основные параметры режима всех способов контактной сварки - это сила сварочного тока, длительность импульса протекания сварочного тока через свариваемые детали и усилие сжатия деталей. Теплота в свариваемом металле выделяется при прохождении через него импульса тока $I_{св}$ длительностью t в соответствии с законом Джоуля-Ленца:

$$Q=I_{св}^2 R_{т}, \quad (1)$$

где за $R_{св}$ принимают сопротивление столбика металла между электродами. «При расчете сварочного тока, времени импульса, сварочного трансформатора $R_{св}$ - исходный параметр, так как его легко рассчитать, зная материал детали, ее толщину и требуемую температуру сварки. При этом сопротивлениями в контактах между деталями и между электродами и деталями пренебрегают» [1].

Согласно закону Джоуля-Ленца, увеличение $R_{св}$ должно увеличивать количество выделяющейся теплоты. Но по закону Ома

$$I_{св} = U_2 / Z, \quad (2)$$

где U_2 - напряжение на вторичном контуре сварочной машины,

Z - полное сопротивление вторичного контура, в которое входит $R_{св}$. «Поэтому при увеличении $R_{св}$ уменьшится $I_{св}$, а он входит в закон Джоуля-Ленца в квадрате. Следовательно, увеличение $R_{св}$ не всегда увеличивает количество выделяющейся при сварке теплоты, многое зависит от соотношения $R_{св}$ и полного сопротивления вторичного контура сварочной машины» [2], [4]. Отсюда следуют несколько практических выводов. С ростом общего сопротивления вторичного контура от 50 до 500 мкОм тепловыделение в зоне сварки уменьшается по мере падения $R_{св}$ примерно в 10 раз. Недостаток тепла компенсируется увеличением мощности (U_2) или времени сварки. «Сварка на контактных машинах с малым сопротивлением вторичного контура (~ 50 мкОм) сопровождается интенсивным ростом нагрева по мере падения $R_{св}$ в процессе увеличения сварного ядра. При достижении равенства $R_{св} = Z$ нагрев достигает максимума, а затем, по мере еще большего снижения $R_{св}$ (по достижении требуемого размера ядра), уменьшается» [2], [5]. «Таким образом, сварка на контактных машинах с малым сопротивлением вторичного контура сопровождается нестационарным нагревом и нестабильным качеством соединений. Уменьшить этот недостаток можно надежным сжатием зачищенных деталей, обеспечивающим поддержание $R_{св}$ на минимальном уровне, либо поддерживая высокий уровень $R_{св}$ за счет слабого сжатия деталей и разделения импульса сварочного тока на несколько коротких импульсов» [2]. Последнее еще и экономит энергию и обеспечивает прецизионное соединение с остаточной деформацией 2...5 %.

«При сварке на машинах с большим сопротивлением вторичного контура (> 500 мкОм) снижение $R_{св}$ в процессе сварки практически не влияет на выделение теплоты, нагрев остается стационарным, что характерно для сварки на подвесных машинах с длинным кабелем во вторичном контуре. Сваренные на них соединения обладают более стабильным качеством» [2].

«Качество сварных соединений, выполненных контактной сваркой, определяется подготовкой поверхностей к сварке, а также правильным выбором параметров режима и их стабильностью. Основным показателем качества точечной и шовной сварки - это размеры ядра сварной точки. Для всех материалов диаметр ядра должен быть равен трем толщинам S более тонкого свариваемого листа. Допускается разброс значений глубины проплавления в пределах 20...80 % S . За меньшим из этих пределов следует непровар, за большим - выплеск. Глубина вмятины от электрода не должна превышать $0,2 S$. Размер нахлестки в точечных и шовных соединениях должен выбираться в пределах 2,5...5,0 диаметров ядра» [2].

Основные дефекты сварных соединений при точечной и шовной сварке - это непровар, заниженный размер литого ядра, трещины, рыхлоты и усадочные раковины в литом ядре и выплеск, который может быть наружным, из-под контакта электрод - деталь, и внутренним, из-под контакта между деталями. Причины этих дефектов - недостаточный или избыточный нагрев зоны сварки из-за плохой подготовки поверхностей и плохой сборки деталей или из-за неправильно выбранных параметров режима сварки.

Контролируют качество контактной сварки чаще всего внешним осмотром, а также любыми методами неразрушающего контроля. Сложность контроля состоит в том, что этими методами непровар не выявляется, так как поверхности деталей плотно прижаты друг к другу, в их контакте образуется "склейка", проникающие излучения, магнитное поле и ультразвук не отражаются и не ослабляются. Наиболее оперативный метод контроля - разрушение контрольных образцов в тисках молотком и зубилом. Если

непровара нет, разрушение происходит по целому металлу одной из деталей, можно измерить диаметр литого ядра при точечной и шовной сварке.

1.2 Анализ параметров контактной сварки

1.2.1 Параметры режима сварки

Совокупность электрических, механических и временных параметров, которые обеспечиваются сварочным оборудованием и необходимы для получения качественного сварного соединения, называются режимом сварки. Основными параметрами контактной точечной сварки являются: сила тока сварки (I_{CB}), длительность импульса сварочного тока (t_{CB}), усилие сжатия электродов (F_{CB}), размеры и форма рабочих поверхностей электродов (R - при сферической, $d_{Э}$ - при плоской форме).

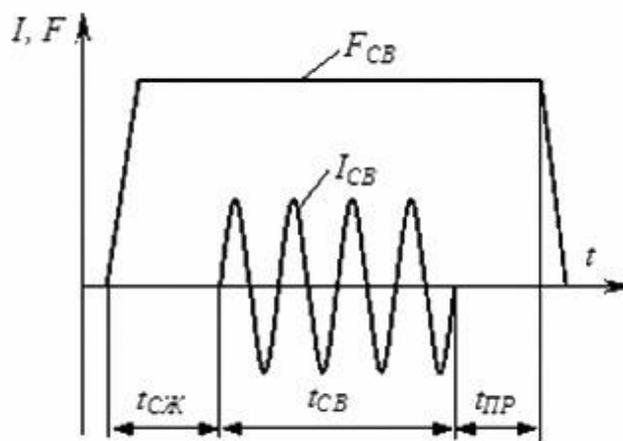


Рисунок 1.4 – Циклограмма процесса контактной сварки

«Удельное электрическое сопротивление ρ_0 определяет сварочный ток. Чем меньше величина удельного электрического сопротивления, тем больше должен быть ток сварки. Например, для сварки алюминиевых сплавов требуются токи значительно большей величины, чем при сварке сталей из-за высокой электро и теплопроводности алюминия и его сплавов. Коэффициент

теплопроводности λ и связанный с ним коэффициент температуропроводности a определяют потери (рассеяние) теплоты в околошовную зону и основной металл. В свою очередь на протяженность околошовной зоны и температуру в контактах влияют теплофизические свойства. С увеличением коэффициента теплопроводности уменьшают время сварки, применяют более жесткие режимы» [3].

«С увеличением коэффициента линейного расширения α и условного сопротивления пластической деформации σ_d металла повышается склонность к внутренним выплескам, возрастает уровень остаточных напряжений. При сварке металлов с большими значениями пластической деформации значительно увеличивают усилие прижатия, применяют более мягкий режим» [3].

Усилие сжатия ($F_{св}$) оказывает влияние на многие процессы контактной точечной сварки: на пластические деформации, на выделение и перераспределение тепла, на охлаждение металла и его кристаллизацию в ядре. С увеличением усилия прижатия увеличивается деформация металла в зоне сварки, уменьшается плотность тока, снижается и стабилизируется электрическое сопротивление на участке электрод-детали-электрод. «При условии сохранения размеров ядра неизменными, прочность сварных точек с ростом усилия сжатия возрастает» [6, 7, 8].

Усилие сжатия электродов подбирается для каждого конкретного случая в зависимости от толщины свариваемых деталей и от длительности нагрева. При сварке горячекатаной стали с низким содержанием углерода оно ориентировочно может быть определено по следующим формулам:

« $F_{св} = (100-200)s$ Н — на «жестких» режимах» [6].

« $F_{св} = (60-100)s$ Н — на «мягких» режимах» [6].

При сварке холоднокатаной стали усилие повышается на 20–30%.

Усилие сжатия электродов может быть определено по величине удельного давления p : $F_{св} = p\pi d^2 / 4$.

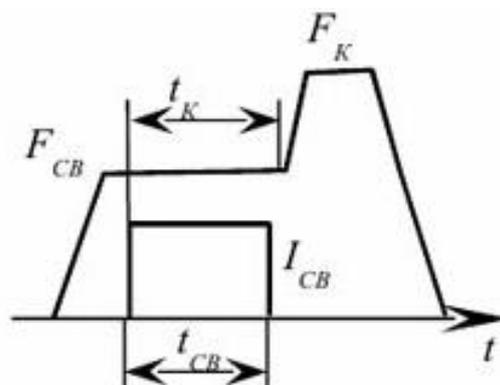


Рисунок 1.5 – Изменение усилия прижатия при сварке

Измерение статического усилия сжатия электродов производят с помощью гидравлических или пружинных динамометров типа ПД-50, -100, -500 и -1500. Динамометр состоит из упругого элемента — плоской пружины, деформация которой измеряется стрелочным индикатором со шкалой, градуированной в килограмм - силах. В качестве датчиков давления используют также проволочные тензометры. Действие тензометра основано на изменении электрического сопротивления проволоки, укрепленной на датчике, при упругих деформациях растяжения или сжатия (датчик давления для измерителя типа МИКС-2) [6, 9].

1.2.2 Анализ формулы Джоуля-Ленца

Известно, что для получения сварного соединения необходимо расплавление металла, которое достигается путем пропуска тока в месте контакта. Количество теплоты выделяемое в этом процессе можно выразить по формуле Джоуля-Ленца (1):

Полное сопротивление сварочной цепи, определяется по формуле:

$$R = 2R_э + 2R_з + R_к, (3)$$

где « $R_э$ – сопротивление контакта между электродами и заготовками» [6, 10].

« R_3 – сопротивление выступающих концов заготовок» [6].

« R_k – сопротивление контакта между заготовками» [6].

«Изменение усилия прижатия деталей изменяется величина контактного сопротивления. А именно контактное сопротивление деталей уменьшается при росте усилия сжатия, за счет увеличивающейся площади прижатия из-за смятия микро выступов, увеличения их числа и разрушения поверхностных пленок» [6, 9, 10].

Анализ формулы показывает, что влияние, на проплавление оказывают величина сварочного тока, время сварки, а также сопротивление в месте контакта. В свою очередь на сопротивление оказывает влияние усилие прижатия, однако не установлено влияние усилия прижатия на качество сварного соединения при прочих равных условиях.

1.3 Анализ публикаций по теме

1.3.1 Привод сжатия электродов для машин контактной точечной микросварки

Для того чтобы подробнее изучить состояние вопроса – необходимо проанализировать статьи в научно-технических журналах. Поскольку в них могут содержаться результаты исследований или изобретения, не представленные в книгах и учебниках.

Исходя из полученной ранее информации, усилие сжатия является одним из важных параметров контактной точечной сварки. Поэтому в производстве используются специальные приводы сжатия, позволяющие прикладывать необходимое усилие на сварную точку в каждом цикле сварки.

«Привод сжатия электродов для машин контактной точечной сварки должен обеспечивать перемещение верхнего электрода относительно неподвижного нижнего и сжатие свариваемых деталей с заданным усилием. Исходя из особенностей процесса контактной точечной сварки, схема ее

оптимальной циклограммы должна соответствовать приведенной на рис. 1.6» [11].

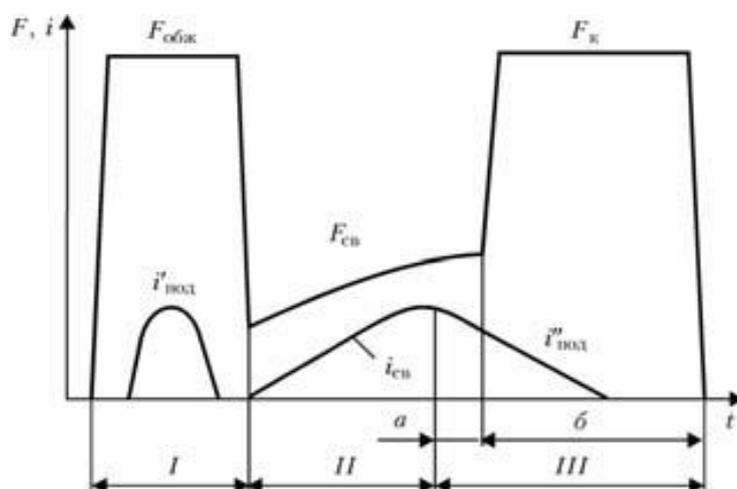


Рисунок 1.6 – Схема оптимальной циклограммы точечной сварки

«На I стадии предварительное обжатие $F_{обж}$ служит для устранения зазоров между деталями, получения требуемых значений контактных сопротивлений электрод–деталь в холодном состоянии» [11]. Стабильное давление между деталями поддерживается благодаря монотонному возрастанию усилия сжатия $F_{св}$ на II стадии, несмотря на рост площади контакта и диаметра жидкого ядра. На III стадии можно выделить два участка a и $б$. На небольшом первом участке усилие сжатия остается постоянным от 0,03с до 0,10с для того, чтобы немного наружный слой металла деталей и избежать глубоких вмятин при проковке. «На втором — прикладывают и поддерживают длительное ковочное усилие $F_к$ для снижения растягивающих напряжений, уменьшения короблений узлов, предупреждения горячих трещин и раковин» [11, 12, 13]. «Однако на практике циклограмму усилия упрощают в зависимости от толщины, свойств, конфигурации и ответственности узлов, качества сборки, а также реальных возможностей сварочного оборудования» [11].

«В машинах для контактной точечной микросварки с целью перемещения подвижного электрода и получения усилия сжатия свариваемых деталей применяют следующие приводы: педальногрузовой, пружинный, пневматический, гидравлический, электромагнитный и пневмогидравлический» [11].

«Для машин контактной точечной микросварки малых толщин широкое распространение получили пружинные приводы, создающие усилие за счет сжатия пружин, которое производится путем нажатия ножной педали сварщиком с помощью отдельного пневмопривода, электромагнита или электропривода с эксцентриком. Ниже описывается пружинный привод перемещения и сжатия электродов на основе линейного привода с шаговым двигателем (ШД). Кинематическая схема привода приведена на рис. 1.7. Корпус (7) привода перемещения и сжатия электродов неподвижен и крепится к станине машины для контактной точечной микросварки. Электрод (8) совместно со стаканом (4) перемещается по фторопластовым направляющим (5) относительно корпуса (7). Перед сваркой электрод (8) вместе со стаканом (4) находится в верхнем положении, т. е. электрод поднят. При включении двигателя (1) «на вращение» начинает вращаться соединенный с валом двигателя винт (2). В результате гайка (3) перемещается по винту вниз. Гайка через пружину (6) воздействует на стакан (4) и связанный с ним электрод (8). Последний перемещается вниз до касания поверхности свариваемой детали» [11].

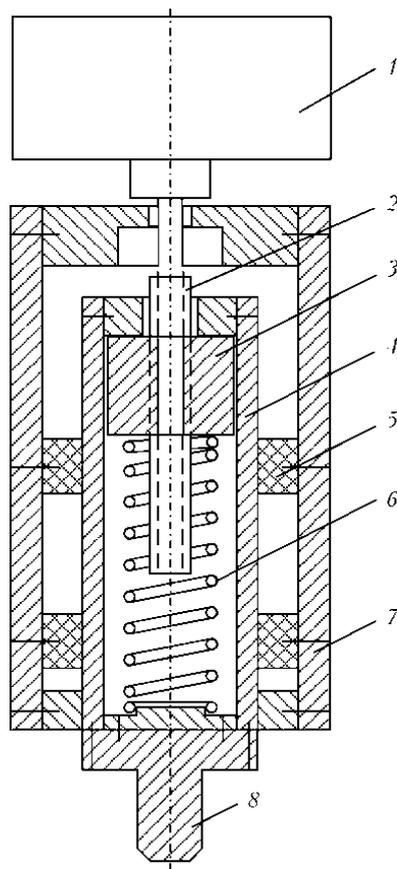


Рисунок 1.7 - Кинематическая схема пружинного механизма привода сжатия электродов с шаговым двигателем

Таким образом, для получения качественных сварных соединений необходимо обеспечить определенные параметры сварки и усилие прижатия в том числе. Поэтому в промышленности используются механизированные приводы позволяющие обеспечить стабильное прижатие на протяжении времени сварки всего объема продукции.

Исходя из информации, представленной в статье, можно сделать вывод, что усилие прижатия при контактной сварке непосредственно оказывает влияние на итоговое качество готового изделия. Поэтому необходимо обеспечить приложение определенного усилия на свариваемые детали в каждом конкретном случае. Точное дозирование усилия позволит получить лучшее качество сварного соединения.

1.3.2 Портативная система контроля и управления процессом контактной точечной сварки

«Качество контактной точечной сварки зависит от многих факторов, в первую очередь от выбранной технологии, применяемого оборудования и автоматического контроля процесса в реальном времени. Известно много стационарных и карманных приборов, систем на основе офисных и промышленных компьютеров и ноутбуков, предназначенных для контроля процесса контактной точечной и шовной сварки сопротивлением. Эти приборы и системы позволяют исследовать процесс сварки новых и известных материалов и конструкций, автоматизировать выбор режима сварки, оптимизировать его, задавать и проверять допустимые пределы колебаний параметров режима, следить в реальном времени за качеством сварки. С их помощью можно накапливать, статистически обрабатывать и анализировать данные, сертифицировать производство, калибровать датчики, осуществлять техническое обслуживание сварочных машин и электродов» [14].

Для контроля параметров и управления процессом сварки используются приборы MiyachiUniteck, мониторы ATekResistanceWelding, карманный тестер ТЕСНА и другие. Эти приборы позволяют измерять ток, напряжение между электродами, усилие сжатия и тд.

В ИЭС им. Е. О. Патона создана экспертная система для контактной точечной сварки, выдающая рекомендации на основе баз данных и знаний по технологии сварки изделий с заданной толщиной деталей, состоянием их поверхности, особенностей конструкции и марки материала.

«Для измерения параметров циклограммы усилия сжатия необходимо отработать заданный режим с включенным током сварки при установленном между электродами датчике усилия сжатия. В этом случае длительность тока и время его в общей циклограмме определяются по датчику напряжения между электродами (рис. 1.8)» [14].

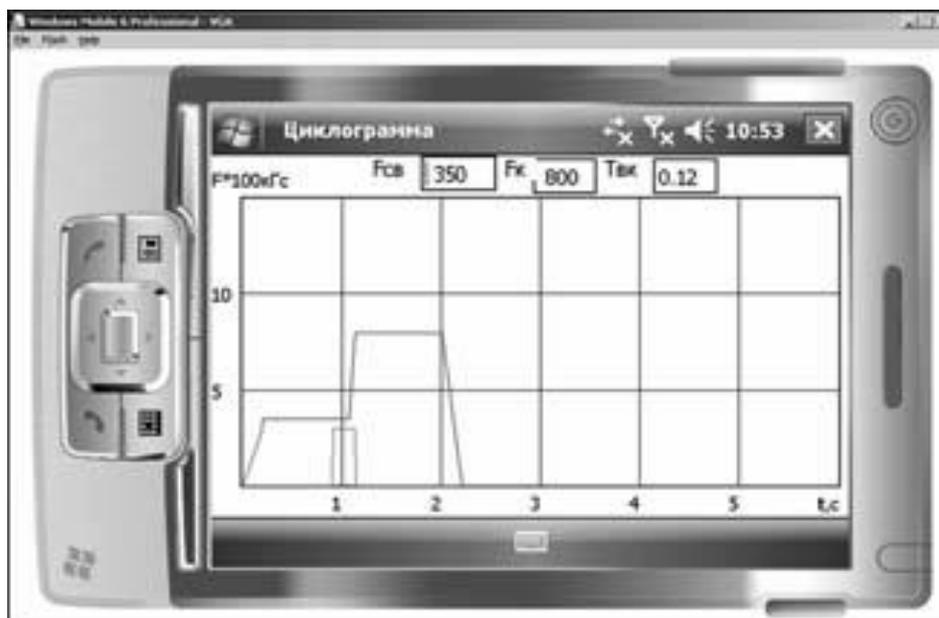


Рисунок 1.8 - Циклограмма усилия сжатия электродов на дисплее КПК

Таким образом, подобные системы контроля позволяют отслеживать параметры сварки, выявлять зависимости параметров, подбирать необходимые режимы по материалу. Такого рода система могла бы быть полезной для выявления влияния усилия прижатия на качество сварного соединения, т.к. отслеживает множество параметров в режиме реального времени с достаточно высокой точностью.

Исходя из информации, полученной в ходе изучения данной статьи можно сделать вывод, что с помощью специальных измерительных устройств и цифровых устройств со специальным программным обеспечением можно определять усилие прижатия в процессе сварки и подбирать наиболее оптимальное для каждого конкретного случая. Таким образом, данная статья доказывает, что усилие прижатия является одним из ключевых параметров при контактной точечной сварке и определив эталонное усилие для каждого конкретного случая можно улучшить прочность сварного соединения.

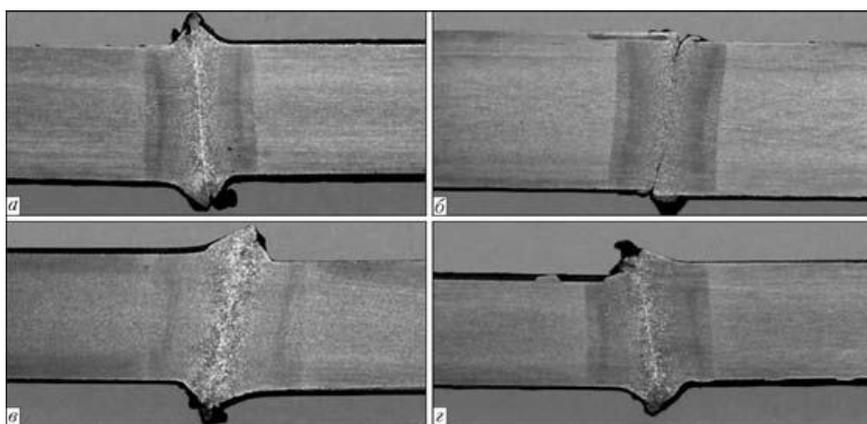
1.3.3 Оценка стабильности процесса сплавления при контактной стыковой сварке

«При контактной стыковой сварке давлением неразрушающий контроль качества сварных соединений не всегда позволяет достоверно выявлять дефекты. Учитывая, что свойства соединений напрямую зависят от параметров режима сварки, то стабильность режимов часто можно определить по наличию отклонений их от задаваемых значений. Обычно при сварке непрерывным оплавлением удовлетворительное качество соединений достигается при обеспечении оптимальных распределений температуры в приконтактной зоне на всей площади поперечного сечения перед осадкой, а также величины и скорости осадки» [15]. «Поскольку в ряде случаев прямые измерения указанных характеристик весьма затруднены или невозможны, измеряют другие параметры, влияющие на нагрев деталей: сварочное напряжение, скорость подачи деталей и пр. Стабильные значения указанных показателей обеспечивают оптимальный нагрев деталей и, как следствие, качество стыков. При этом допустимыми считаются отклонения напряжения холостого хода не более чем на 10 % заданного значения, для скорости подачи детали — до 20 %, отклонения значения вылетов деталей не должны превышать 5 %» [15].

«Информацию, необходимую для оценки качества сварного соединения, можно получить по результатам анализа основных физических параметров процесса сварки, в частности, электрических» [16, 17]. «При контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением процесс образования жидких перемычек, их нагрев, разрушение и образование новых может быть описан вероятностными методами. Его ход определяется мгновенными значениями параметров режима (как электрических, так и механических), а также случайными возмущениями разного рода, в том числе и технологическими, связанными с подготовкой деталей под сварку и их установкой в зажимах машины. Влияние возмущений на протекание процесса наиболее часто характеризуется отклонением основных параметров

режима от заданных значений, т. е. изменение напряжения в процессе оплавления носит вероятностный характер, а само вторичное напряжение является одним из наиболее чувствительных к возмущениям параметров режима сварки» [15].

Авторами данной статьи эксперименты по контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением стержневой арматуры класса А400С диаметром 14 мм проводились на машине МСО-606 с жестким электромеханическим приводом оплавления без обратных связей. Регистрация напряжения во вторичном контуре машины выполнялась с помощью аналого-цифрового преобразователя Е-140 (L-Card, Россия). Оценивался оптимальный режим и три случая отклонения параметров процесса, снижающих качественные характеристики стыка, которые наиболее часто возникают при сварке: снижение скорости подачи детали v ; снижение напряжения холостого хода машины $U_{х.х}$; изменение установочной длины деталей. Отклонения параметров процесса создавались путем введения возмущений, больших допустимых из условий обеспечения качества. В результате экспериментов получены соединения (рис. 1.9), которые отличаются зоной нагрева и наличием в стыке дефектов, в частности, несплошностей.



а — оптимальный режим; б, в — пониженные скорость и напряжение;
г — увеличенный вылет

Рисунок 1.9 - Макрошлифы стыков, полученных на различных режимах сварки

Несмотря на то, что в данной статье рассматривался способ контактной стыковой сварки, из нее была получена полезная информация о качестве сварных соединений при оптимальном режиме, пониженной скорости осадки, напряжении и увеличенном вылете. Таким образом, можно провести параллель между контактной стыковой и точечной сваркой. Можно предположить, что при изменении усилия прижатия в большую или меньшую сторону качество сварного соединения будет снижаться, как и в приведенном эксперименте в статье в случае с пониженной скоростью (недостаточное усилие прижатия деталей) или увеличенным вылетом деталей (большое усилие прижатия деталей). Исходя из этого, можно предположить, что усилие прижатия оказывает влияние на качество сварного соединения и чрезмерное усилие прижатия не увеличит прочность соединения, а возможно наоборот приведет к неравномерному сплавлению и снижению прочности в месте сваки.

1.3.4 Расчет усилия осадки при контактной стыковой сварке изделий замкнутой формы

В промышленности для производства деталей и конструкций замкнутой формы различного назначения (элементов двигателей, различных бандажей, поворотных кругов, подшипников, фланцев и пр.) применяют различные способы сварки (дуговую, электронно-лучевую, контактную и др.), от которых существенно зависят эксплуатационные характеристики сварного соединения. «Одним из наиболее экономичных и технически простых процессов изготовления кольцевых заготовок является контактная стыковая сварка (КСС)» [18]. Этот способ обеспечивает высокое стабильное качество сварных соединений, объединяет в едином цикле сварочные и сборочные операции и не требует применения вспомогательных расходных материалов (электродов, флюсов, сварочных проволок, защитных газов и т.д.). «В ИЭС им. Е. О. Патона разработана технология и оборудование для контактной стыковой сварки кольцевых изделий в промышленных условиях» [19]. «В основу технологии положен способ контактной стыковой сварки

пульсирующим оплавлением, который обеспечивает высококонцентрированный нагрев, вследствие чего уменьшается зона термического влияния (ЗТВ)» [18, 20].

Авторы данной статьи произвели расчет усилий и отклонений для контактной стыковой сварки. С использованием двух аналитических методов расчета получены выражения для определения усилия осадки, необходимого при контактной стыковой сварке кольцевых заготовок.

Эта статья очередной раз доказывает необходимость подбора усилия прижатия деталей при контактной сварке для получения качественного и прочного сварного соединения.

1.4 Анализ англоязычных источников

Для того чтобы более полно ознакомиться с вопросом о влиянии усилия прижатия деталей при контактной сварке необходимо изучить зарубежный опыт в данном направлении. Необходимо изучить статьи описывающие вопросы контактной сварки, эксперименты, расчеты и математическое моделирование процесса. Наибольший интерес представляет информация о непосредственном влиянии усилия прижатия, о приводах сжатия и способах регулирования усилия.

1.4.1 Параметрическое исследование роста ядра сварной точки при точечной сварке листов из нержавеющей стали 304L, имеющих одинаковую и разную толщину

В этой статье представлено экспериментальное и аналитическое исследование развития ядра сварной точки в процессе контактной точечной сварки листов нержавеющей стали 304L, имеющих одинаковую и разную толщину. Были исследованы две толщины листа нержавеющей стали (1 мм и 1,5 мм). Изучено влияние интенсивности и времени сварочного тока на рост ядра точки. Кроме того, было также исследовано влияние прикладываемой нагрузки электрода на смещение точки сварного шва. Максимальная толщина ядер достигается, когда сопротивление электрического контакта

становится максимальным, в отличие от диаметра ядра, на который меньше влияет контактное сопротивление.

Чтобы исследовать влияние тока сварки и время сварки на размер сформированного ядра во время точечной сварки двух листов, с одинаковой толщиной 1 мм, были выполнены три цикла точечной сварки. Сварка выполняется с постоянной нагрузкой электродов 2,5 кН. Каждая серия испытаний проводится при одном и том же времени сварки с изменением интенсивности тока сварки.

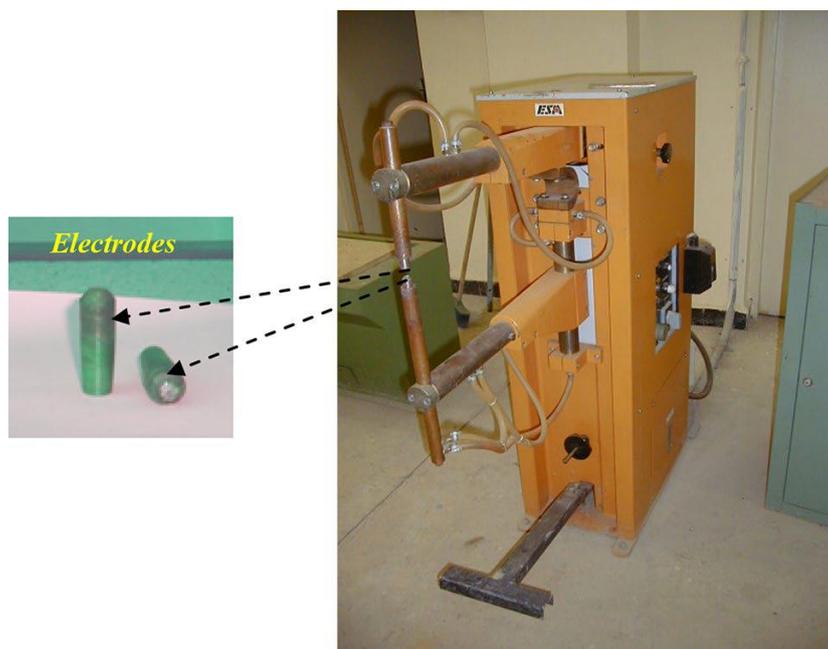


Рисунок 1.10 – Сварочная машина, используемая в экспериментах

Первая серия образцов, сваривалась при постоянной нагрузке электродов 2,5 кН, в то время как время сварки и ток варьировались от 5 до 15 циклов и от 4000 до 9000 А, вторая серия реализована при времени сварки 10 циклов и интенсивности сварочного тока 7000 А, приложенная нагрузка электрода, варьировалась от 1 до 2,5 кН.

Результаты показывают, что на развитие толщины ядра больше влияет время сварки, чем ток сварки, в отличие от роста диаметра ядра, который больше всего зависит от тока сварки. Результаты показывают, что

максимальные значения толщины ядра и его диаметра достигаются при приложении нагрузки 1250 Н. Можно сделать вывод, что причина этого результата более вероятна из-за более высокого контактного сопротивления, зарегистрированного при заданных параметрах сварки. После 1250 Н толщина и диаметр сварной точки уменьшаются и становятся практически постоянными от 2000 Н до 2500 Н. График данной зависимости толщины и диаметра сварной точки от силы тока сварки представлен на рисунке 1.11.

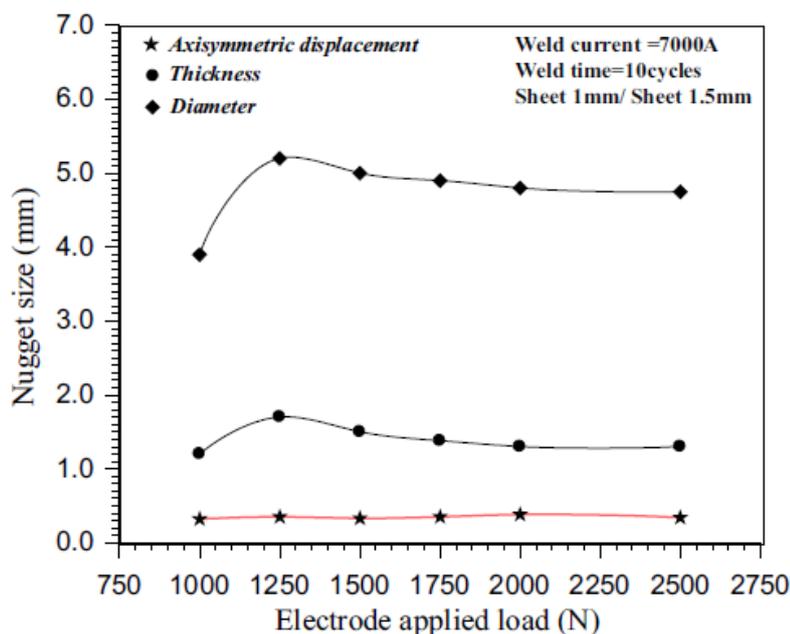


Рисунок 1.11 – Экспериментальные размеры сварной точки в зависимости от приложенной нагрузки (время сварки 10 циклов, сила тока 7000 А)

«При контактной точечной сварке качество сварного шва тесно связано с интенсивностью сварочного тока, временем сварки и приложенной нагрузкой на электрод» [21].

На рис. 1.12, представлены изменения диаметра и толщины ядра в зависимости от интенсивности сварочного тока при времени сварки 5 циклов. От 4000 до 6000 А, размер ядра характеризуется быстрым развитием, достигающим максимальной толщины около 1,5 мм. Диаметр ядра

продолжает увеличиваться в интервале силы тока от 6000 до 8000 А до максимума 5,80 мм, в то время как толщина уменьшается на 34% по сравнению с максимальным значением. Замечено, что за пределами 8000 А размер шва остается без значительного роста.

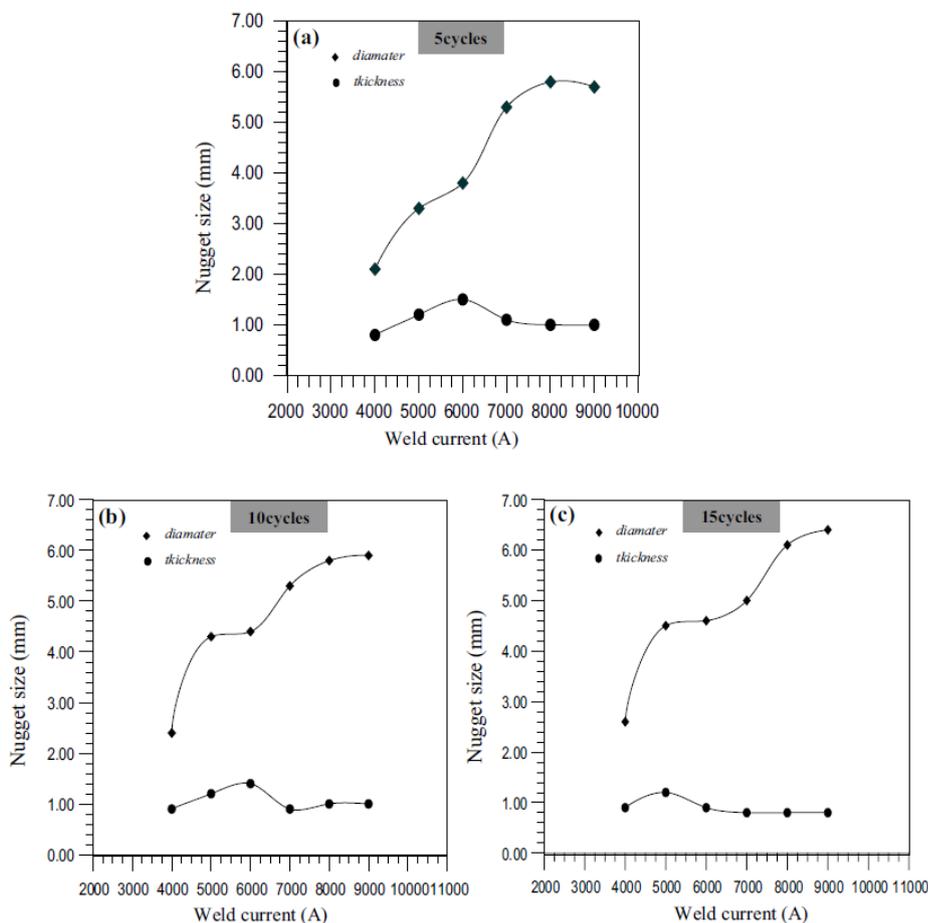


Рисунок 1.12 - Изменения диаметра и толщины ядра в зависимости от интенсивности сварочного тока.

В этом исследовании было изучено ядро сварной точки при точечной сварке листов нержавеющей стали 304L, имеющих одинаковую и разную толщину. Экспериментально проанализировано влияние различных параметров сварки, таких как время сварки, интенсивность сварочного тока и приложенная нагрузка электрода, на рост ядра сварной точки. Также была разработана термоаналитическая модель, чтобы предсказать развитие размера ядра в процессе точечной сварки. В ходе экспериментального

процесса было обнаружено, что рост ядра проходит в четыре этапа: инкубация, быстрое развитие, медленное развитие и выплеск.

Полученные результаты точечной сварки листов одинаковой и разной толщины подчеркивают, что на рост толщины ядра больше влияет время сварки, чем ток сварки, в отличие от роста диаметра ядра, который больше всего зависит от тока сварки. Полезно отметить, что толщина ядра достигла своего максимума, когда сопротивление электрического контакта было максимальным, в отличие от диаметра ядра, который остается менее подверженным влиянию сопротивления.

Исходя из данных, представленных в данной статье, можно сделать вывод, что на рост диаметра ядра влияет сила тока сварки, на рост толщины ядра влияет время сварки, а электрическое сопротивление влияет на толщину ядра сварной точки в большей степени, чем на диаметр точки. Также в экспериментах с разными усилиями прижатия электродов было отмечено влияние усилия на диаметр и толщину сварной точки. Было установлено, что дальнейшее увеличение усилия после определенного момента не приводит к увеличению диаметра и толщины ядра сварной точки. Значит, усилие прижатия оказывает влияние на качество сварного соединения, а также для получения сварной точки наилучшего качества необходимо подобрать наиболее подходящее усилие прижатие при определенных прочих параметрах, но увеличение сверх нормы не приведет к увеличению качества соединения. Таким образом, информацию, представленную в данной статье, можно использовать для подготовки к проведению эксперимента для магистерской диссертации. Также можно сравнить графики зависимости диаметра сварной точки от усилия сжатия, полученные авторами статьи с собственными результатами.

1.4.2. Оптимизация контактной сварки с помощью электрического сервопривода

Статья посвящена контролю процесса контактной сварки, применяемой при стыковке тонкостенных металлических элементов. Движение электрода

генерируется электрическим сервоприводом, который управляет силой, действующей на электрод, или, в качестве альтернативы, просто перемещает сам электрод. Проекционная сварка применялась для сварки стальных листов DX53 толщиной 1,5 мм, где один лист содержит рельефный выступ. Помимо электрического сервопривода, для сравнения был описан другой источник силы, то есть пневматический привод (классический).

«Упрощенная схема системы сварочного аппарата представлена на рис. 1.13. Она состоит из следующих частей: трехфазный сетевой выпрямитель (GR, D1-D6) с емкостным фильтром (Cf), инвертор (Iv) на основе IGBT-транзисторов (T1-T4), трансформатора (Tr) с выходным выпрямителем (OR, D7-D8) и электродов с пневматическим / электрическим сервоприводом» [22].

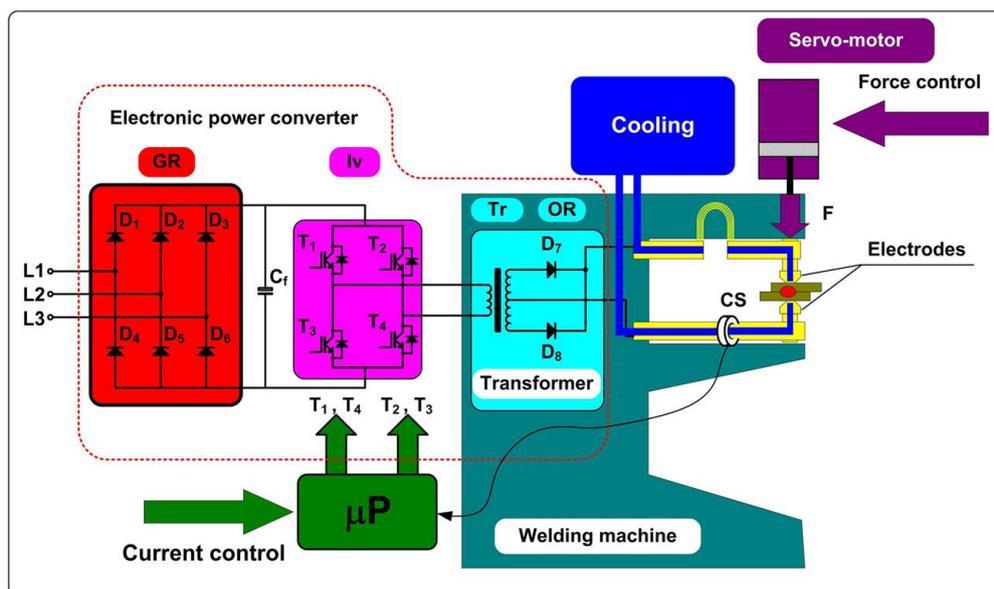


Рисунок 1.13 – Схема системы сварочного аппарата

Можно заметить, что электрическая энергия в сварочном аппарате преобразуется четыре раза. Сначала входная энергия переменного тока сети (50/60 Гц) преобразуется во входном выпрямителе в энергию постоянного тока и фильтруется конденсатором Cf. После этого энергия постоянного тока

преобразуется в преобразователе в энергию переменного тока средней частоты (1/10 кГц). На третьем этапе трансформатор преобразует энергию в энергию тока большой силы. И последний шаг, он выпрямляется двухпроводным выходным выпрямителем. Такая энергия постоянного тока подается на сварные элементы и преобразуется в тепловую энергию. Количество энергии, подводимой к сварному шву, контролируется инвертором, где транзисторы контролируются соответствующим коэффициентом заполнения D . Среднее значение сварочного тока пропорционально коэффициенту заполнения D . Такое решение типично для сварочных инверторов, используемых в сварке сопротивлением. Контроль сварочного тока (амплитуда, продолжительность и форма) дозирует количество энергии, подаваемой в зону сварки. Но это не единственный параметр, управляющий энергией. Вторая, очень важная, — это контроль силы, которую электроды оказывают на сварные элементы, - это отдельная технологическая проблема, которую необходимо решить. Энергия контролируется силой электродов, потому что она напрямую влияет на сопротивление сварных элементов (энергия является произведением времени, квадрата тока и сопротивления). То же самое можно считать с учетом силы.

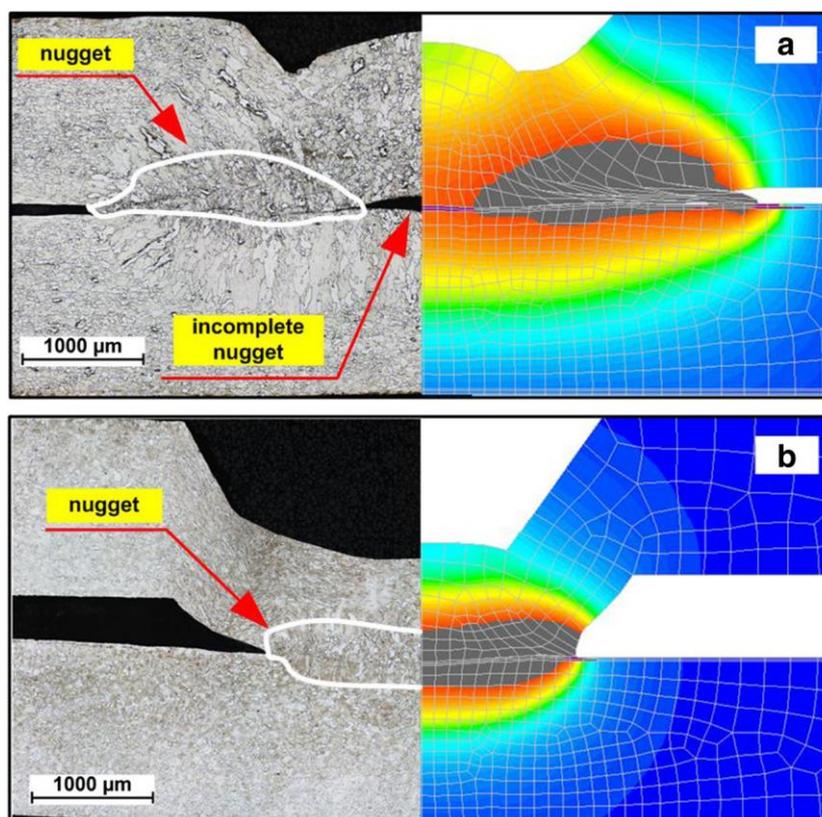
$$E = I^2 \times R \times t, \quad (5)$$

Оптимизация процесса сварки, определяемая как управление распределением энергии и мощности сварки, в значительной степени зависит от использования электрической сервоусилительной системы и применения соответствующих алгоритмов управления. Успешный процесс оптимизации приводит к улучшению повторяемости и, следовательно, к лучшему качеству сварных соединений.

Преимущества нового решения имеют место, в частности, для проекционной сварки, где технологический процесс характеризуется

относительно большим расстоянием перемещения электрода во время протекания тока (например, по сравнению с точечной сваркой внахлест). В статье рассматривается один из вариантов контактной сварки, а именно, проекционная сварка листов с тисненными выступами. В основном, проекционная сварка (в том числе упомянутая рельефная сварка с тиснением) используется, когда необходимо одновременно выполнить несколько соединений, создать эстетические стыки без видимых в материале выемок из-за усилия, прилагаемого электродами, и получить небольшую зону термического влияния.

Оптимизацию контактной сварки листов с тисненым выступом следует начинать с характеристики взаимной зависимости между силой и ходом электродов. В классической пневматической силовой системе постоянная сила задана заранее. В результате перемещение электродов уменьшает высоту выступа (см. рис. 1.14). Параметр, установленный перед процессом сварки (амплитуда тока, время протекания тока и сила электрода), влияет на конечный результат. Следует отметить, что контроль хода электрода невозможен во время сварки (особенно при протекании тока). Это происходит из-за нежелательной значительной инерции пневматической системы.



а) пневматический привод, б) электрический сервопривод

Рисунок 1.14 – Сравнение макроструктуры сварного соединения

Таким образом, авторами данной статьи были рассмотрены параметры процесса, влияющие на качество сварного соединения, как электрические, так и механические. Была поднята тема усилия прижатия при контактной сварке. В ходе эксперимента была произведена сварка образцов с разными приводами сжатия - пневматическим (классический способ) и электрическим сервоприводом. В результате оказалось, что применение электрического сервопривода обладает неоспоримым преимуществом перед классическими приводами сжатия деталей. Данным типом привода можно контролировать ход электрода в процессе сварки, а также более точно дозировать прилагаемое усилие в каждый момент времени. Благодаря этому улучшается качество сварного соединения и соответственно его прочность. Теоретическую информацию, полученную из данной статьи, а также

практические результаты опыта можно использовать для проведения эксперимента в магистерской диссертации.

1.4.3 Проекционная сварка гаек с применением электромеханического и пневматического электродного усилия

Авторами данной статьи проводилась контактная сварка гаек. Проекционная сварка гаек, выполненная с использованием пневматической (электродной) силовой системы (PFS), была подвергнута тщательному численному и экспериментальному анализу, что позволило идентифицировать окно параметров сварки с учетом граничных условий, включая выталкивание, прочность на кручение и деформацию. «Процесс сварки был подвергнут оптимизации с использованием новой, то есть электромеханической (электродной) силовой системы (EFS). Подход, связанный с оптимизацией, заключался в уменьшении величины сварочного тока и увеличении времени протекания сварочного тока по сравнению с теми, которые получены при использовании пневматической силовой системы» [23]. Предполагалось, что критерием приемлемости будет момент разрыва, не ниже, чем тот, который получен при самых благоприятных условиях сварки, выполняемых с использованием PFS. В результате применения EFS и специального инновационного гибридного алгоритма для управления зажимами электродов было получено более широкое и более высокое сварное ядро. Глубина «проплавления» в лист была большей. В результате сварное соединение имеет более высокую прочность (на 30%). Технологические сварочные испытания для новой системы EFS были проведены на 25% меньшем сварочном токе по сравнению с PFS. Несмотря на более низкий сварочный ток для EFS, энергия сварки немного ниже, но качество сварки для EPS значительно выше.

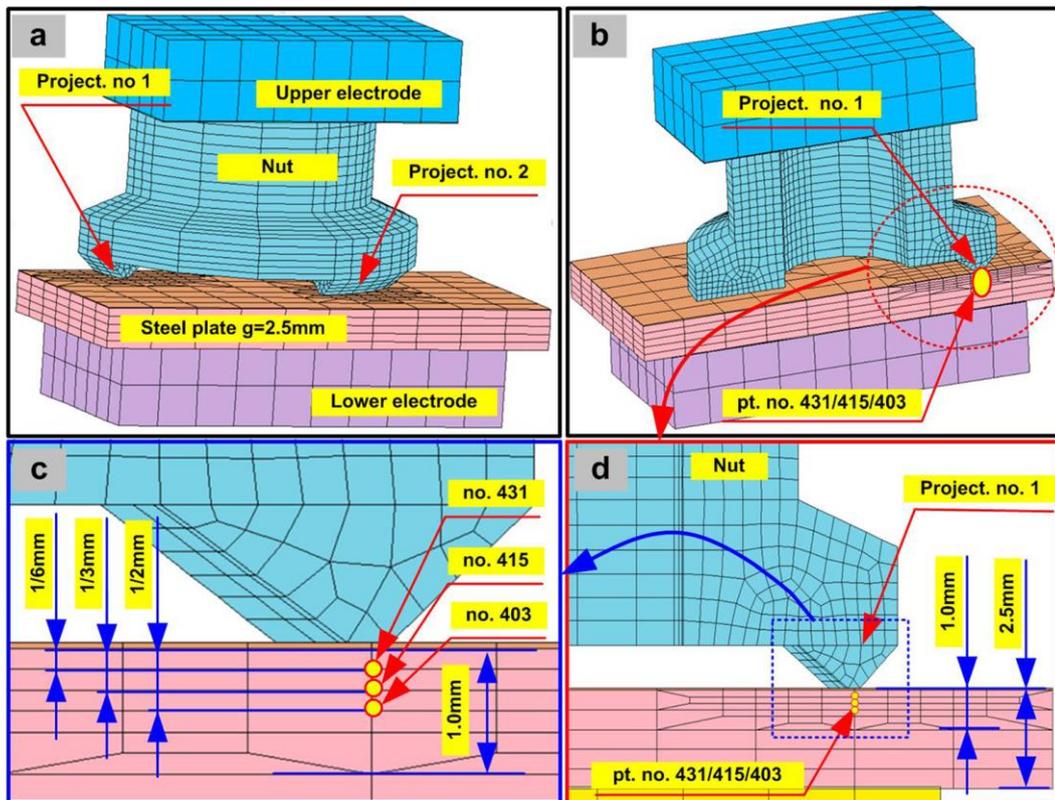


Рисунок 1.15 – 3D модель процесса контактной сварки гаек

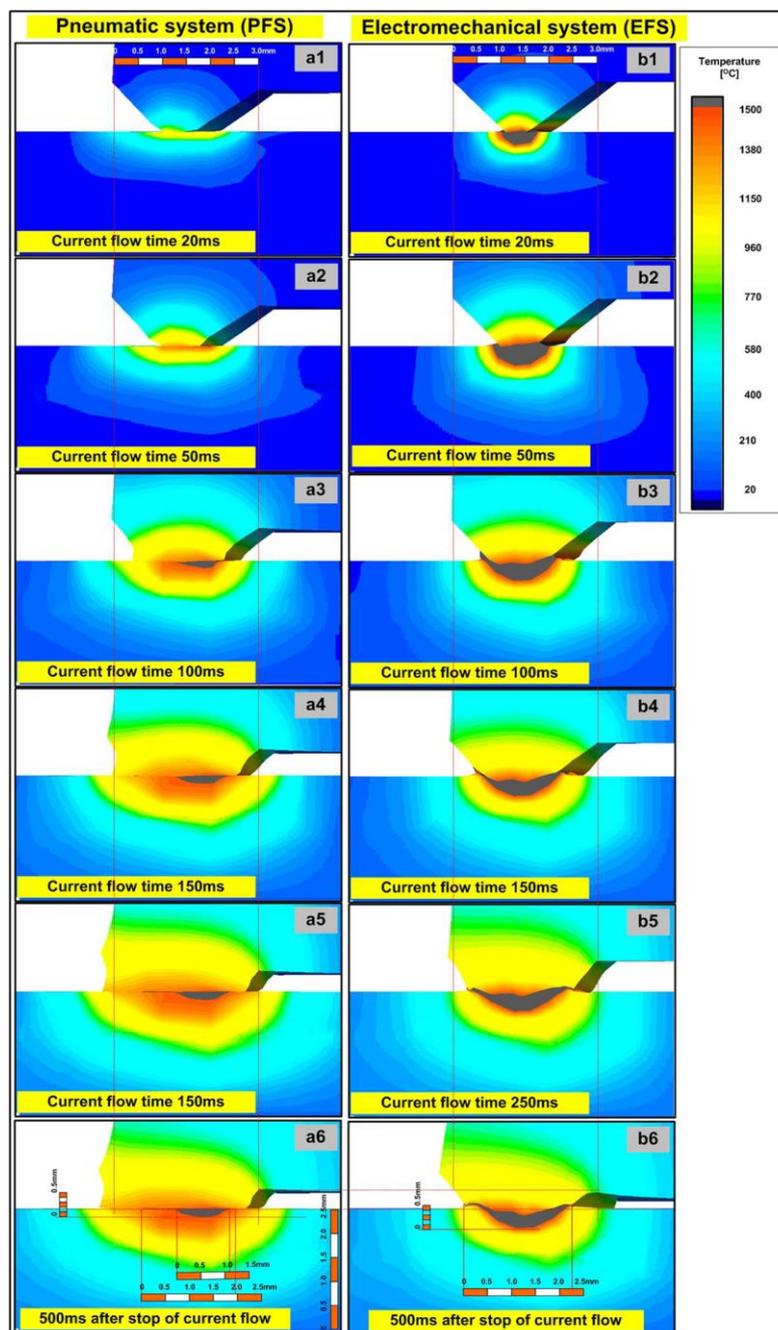


Рисунок 1.16 - Распределение температуры в выбранные моменты процесса сварки

Таким образом, изучив результаты исследований, представленные автором статьи, можно сделать вывод, что электромеханический привод сжатия позволяет получить лучшее проплавление в процессе сварки. Несмотря на то, что в статье не представлены численные результаты влияния усилия сжатия на прочность полученного соединения, можно сделать вывод,

что, изменяя способ приложения усилия можно повлиять на глубину проплавления. При большей глубине проплавления металла, прочность полученного сварного соединения увеличится. Также регулируя силу прижатия в определенный момент времени, можно добиться лучших прочностных характеристик изделия, что невозможно при пневматическом приводе сжатия. Информация из данной статьи может быть полезна при проведении эксперимента для магистерской диссертации.

1.4.4 Перекрестная проекционная сварка алюминиевых сплавов - пневматические и электромеханические электродно-силовые системы

Схема перекрестной сварки представлена на рисунке 1.17.

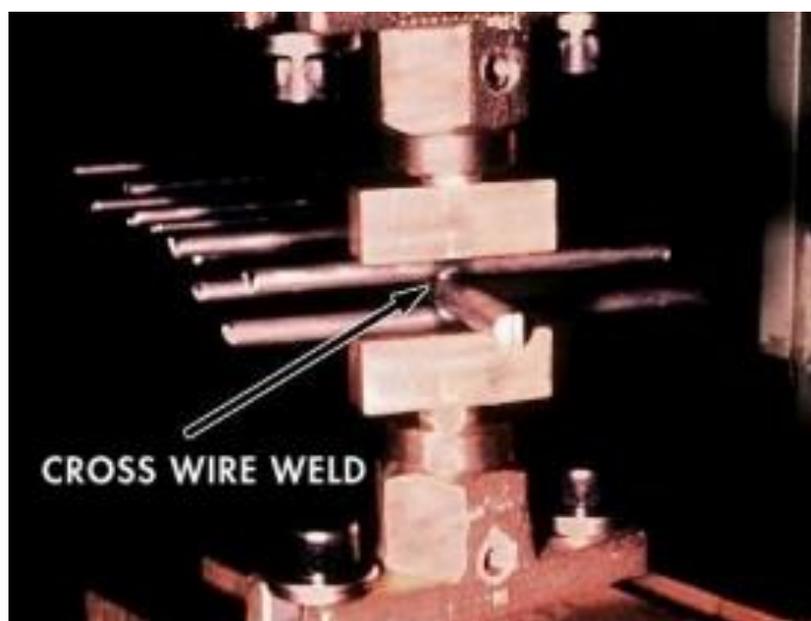


Рисунок 1.17 – Схема перекрестной сварки

Данная статья написана теми же авторами, что и предыдущая. В статье обсуждается оптимизация традиционного процесса контактной сварки, выполняемого с использованием пневматической (электродной) силовой системы (PFS) путем применения электромеханической силовой системы (EFS) и нового алгоритма, позволяющего управлять силой и/или смещением электродов сварочного аппарата, особенно во время протекания тока.

Исследовательская работа, описанная в статье, была направлена на углубленный численный анализ проекционной поперечно-проволочной сварки прутков из алюминиевого сплава Al 5182, диаметром 4 мм, относительно двухэлектродных силовых систем.

«Сила является одним из ключевых параметров в процессе контактной сварки. Другими параметрами являются значение тока и время его протекания. Во время проекционной сварки поперечной проволокой (в частности, из алюминиевых сплавов) в обычном применении, то есть с использованием пневматической силовой системы (PFS), очень трудно, почти невозможно, сделать сварной шов с полным сварным слепком. Алюминий при сварке очень быстро пластифицируется, что приводит к образованию чрезмерно большой площади контакта между свариваемыми элементами и, как следствие, к быстрому снижению плотности тока» [24]. Это не благоприятные условия для плавления материалов, подлежащих сварке. Кроме того, PFS характеризуется высокой инерцией и невозможностью выполнения быстрых изменений силы при протекании тока. По этой причине значение предварительно установленной силы обычно является постоянным и неблагоприятно слишком высоким. Если сила слишком велика, это может привести к высокой деформации сварных элементов (стержней). «Слишком низкая сила может привести к образованию дефектов проекционных суставов (выталкивание, вызванное высокой температурой в контактах)» [24]. В PFS сила, прикладываемая во время сварки, зависит от удельной силы, предварительно установленной пневматическим цилиндром. Смещение электродов является результатом действия этой силы и изменяемого механического сопротивления свариваемых материалов. Существенным недостатком представленного выше способа управления является тот факт, что ни сила, ни смещение (при протекании тока) не контролируются.

Оптимизация процесса сварки проводилась путем сравнения форм сигналов с характерными параметрами (смещение электрода, мгновенная

мощность, диаметр сварного шва и сила электрода) по отношению к двум силовым системам электрода (PFS и EFS). Сравнение проводилось с использованием того же значения сварочного тока, то есть 8 кА. Когда использовалась PFS, указанное выше значение сварочного тока не позволяло получить надлежащий сварной шов.

Регулировка наиболее подходящих параметров технологии проекционной сварки с поперечной проволокой, особенно в отношении мягких материалов, например, алюминиевых сплавов, оказывается очень сложной (почти невозможной). В случае вышеупомянутой системы сил сила электрода чрезмерно высока для короткого времени сварки и высокого сварочного тока. Вышеуказанные условия противоречивы и представляют значительные ограничения для регулировки параметров сварки. Основным ограничением является динамика системы сил электродов, то есть отсутствие возможности быстрого управления силой электродов в течение короткого времени протекания тока.

При использовании PFS для поперечной сварки алюминиевых прутков трудно (почти невозможно) получить полную сварную точку. Применение всех проанализированных параметров привело к получению неблагоприятного кольцевого шва. Улучшение процесса сварки (расширение окна параметров) требует использования EFS. Во время операции, связанной со смещением электродов, можно отрегулировать более благоприятную траекторию смещения электродов, позволяющую получить более благоприятное распределение плотности тока, более благоприятное пространственное распределение мощности сварки, генерирование более высокой энергии в центральной зоне соединения, генерирование значительно более высокой температуры в вышеупомянутой области и, наконец, получение большего полного сварного шва.

Таким образом, авторами данной статьи вновь была поднята тема усилия сжатия при контактной сварке. Снова было проведено сравнение классического пневматического привода сжатия с более современным

сервоприводом. Основываясь на данных, полученных авторами данной статьи, можно сделать вывод, что точно подобранное усилие прижатия и точное дозирование этого усилия в процессе сварки непосредственно повышает качество сварного соединения. Данный эффект подтвердился как при сварке стальных, так и алюминиевых образцов. Также эффект воспроизводится и при разных способах сварки – перекрестной проекционной и контактной проекционной. Исходя из этого, можно предположить, что эффект от изменения усилия прижатия проявится и при точечной контактной сварке листов стали внахлест. Значит данные, представленные авторами данной статьи, можно использовать для подготовки к проведению практического эксперимента.

1.4.5 Получение контроля при сварке сопротивлением

««Работа вслепую» — это выражение, которое может применяться к операциям контактной сварки во всем мире производства. Многие инженеры и операторы не имеют четкой информации о том, что на самом деле происходит во время сварки, или о средствах проверки оборудования. Поэтому для получения наиболее качественной продукции и снижения количества брака, авторы данной статьи предлагают использовать систему мониторинга сварочного процесса» [25].

Шаги для создания контролируемого и задокументированного процесса сварки:

- 1) Настройка машины, которая включает в себя тестирование оборудования;
- 2) Оптимизация процесса;
- 3) Установление лимитов процесса.

Пример проверки настройки оборудования показан на рисунке 2. Временные параметры силы показаны синим цветом, а ток - желтым.

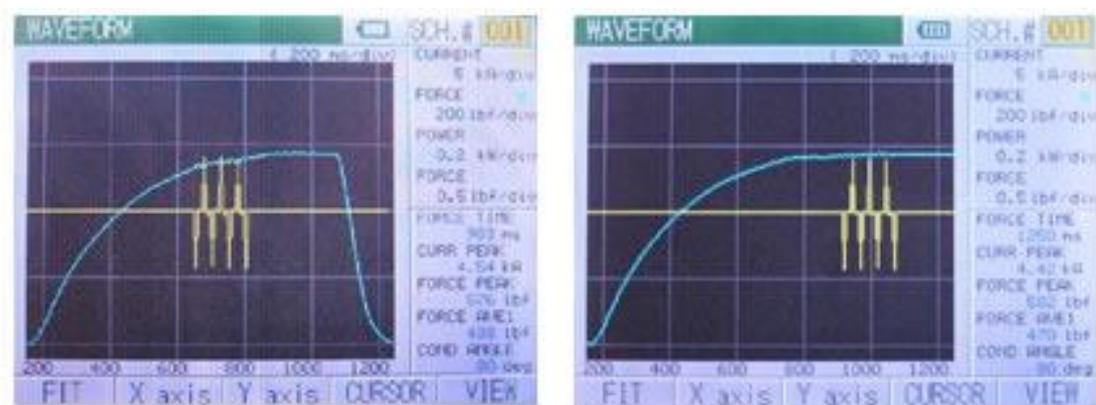


Рисунок 1.18 – Параметры силы тока и усилия сжатия в процессе сварки

Первая кривая показывает текущий момент протекания сварочного тока до достижения постоянной силы. Используя эту информацию, оператор может продлить время сжатия, чтобы усилие достигло постоянного уровня перед сваркой. Это показано во втором графике.

Если процесс сварки выполняется с недостаточным временем сжатия, усилие при сплавлении является переменным, что приводит к непостоянным сварным швам. Это также сделает невозможной оптимизацию сварки.

Авторы статьи делают акцент на том, что ток и сила являются ключевыми входными параметрами для сварного шва, а значит смещение сварного шва является одним из ключевых измеряемых выходных параметров. Уровень и характер разрушения сварного шва обеспечивают четкое указание скорости нагрева внутри сварного шва и правильного количества энергии сварного шва.

Авторы статьи предлагают использовать устройства с проходным датчиком для контроля усилия сжатия в процессе сварки. Этот датчик состоит из медных губок с внутренним тензодатчиком, который позволяет измерять ток и силу одновременно между электродами. Этот быстрый и немедленный метод идеально подходит для точечной проверки машин.

Исходя из информации, приведенной в данной статье, можно сделать вывод, что усилие сжатия при контактной сварке является одним из ключевых параметров. Неправильно подобранное усилие сжатия или приложенное в неподходящий момент времени может негативно сказаться на качестве сварного соединения. Таким образом данная статья доказывает, что усилие прижатия может оказывать влияние на качество сварного соединения, поэтому информация из статьи может использоваться в дальнейших исследованиях магистерской диссертации.

В результате проведенного исследования Российских и зарубежных источников было получено представление о контактной точечной сварке. Были изучены ключевые параметры процесса, оказывающие влияние на качество полученного сварного соединения. Получено представление о электрическом и механическом механизме протекания процесса. Также был проанализирован закон Джоуля-Ленца, по которому протекает процесс контактной сварки, получено представление о влиянии электрических параметров с точки зрения физики. Однако в литературе и научных публикациях как отечественных, так и зарубежных авторов не была найдена информация о том, как влияет усилие прижатия при контактной сварке на прочность сварного соединения. А именно как влияет повышенное усилие прижатия на прочность готового изделия. Будет ли прочность увеличиваться линейно с увеличением усилия прижатия или только до определенного момента, а далее снижаться.

1.5 Патентный поиск

Для того чтобы наиболее полно изучить исследования и изобретения в области контактной сварки и непосредственно о влиянии усилия прижатия на качество сварного соединения, необходимо провести патентный поиск по базе ФИПС. Данный поиск также позволит лучше ознакомиться с установками, оборудованием и способами контактной сварки.

Анализ патентов в области контактной сварки.

Классификация по УДК и МПК

МПК В23К 11/11

В - Различные технологические процессы; транспортирование;

В23 - Металлорежущие станки; способы и устройства для обработки металлов, не отнесенные к другим рубрикам;

В23К - Пайка или спаивание; сварка; плакирование или нанесение покрытий пайкой или сваркой;

В23К 11/00 – Контактная сварка (сварка сопротивлением);

В23К 11/11 – ...точечная сварка.

МПК В23К 11/18

В23К 11/18 – ...цветных металлов.

МПК В23К 11/28

В23К 11/28 – ...переносное сварочное оборудование.

УДК 621.791.763.1

6 – Прикладные науки. Медицина. Технология;

62 – Инженерное дело. Техника в целом;

621 - Общее машиностроение. Ядерная техника. Электротехника.

Технология машиностроения;

621.7 – Технология механообработки в целом: процессы, инструмент, оборудование и приспособления;

621.79 – Соединение материалов с присадочным материалом. Обработка и отделка поверхностей. Хранение и складирование. Упаковка и упаковочные машины;

621.791 – Сварка и родственные процессы;

621.791.7 – Лучевая и электрическая сварка;

621.791.76 – Контактная электросварка сопротивлением с джоулевым нагревом;

621.791.763 – Точечная и шовная сварка;

621.791.763.1 – Точечная.

Результаты патентного поиска приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Проведение патентного поиска

Объект исследования	Выходные данные	Описание
1) Способ точечной сварки	<p>RU 2 689 293 C1 Заявка: 2018109479, 02.09.2016. Дата публикации: 24.05.2019 Бюл. № 15 Автор(ы): ЙОСИНАГА Тисато (JP), МИЯДЗАКИ Ясунобу (JP), ХАЯСИ Кунио (JP), КАВАТА Хироюки (JP), ЯСУЯМА Масанори (JP)</p>	<p>Формула изобретения: Способ точечной сварки свариваемого элемента, состоящего из стальных листов, которые перекрываются по меньшей мере в зоне сварки, при этом по меньшей мере один стальной лист свариваемого элемента имеет цинковое покрытие на по меньшей мере перекрывающейся поверхности в зоне сварки, а общая толщина t (мм) стальных листов составляет 1,35 мм или более, включающий выбор времени St прижима (с) с момента приведения сварочных электродов в контакт со свариваемым элементом до момента начала прохождения электрического тока для сварки в соответствии с выражением 1 и времени Ht удержания (с) электродов после сварки с момента прекращения прохождения электрического тока для сварки до момента выведения сварочных электродов и свариваемого элемента из контакта в соответствии с выражением 2: $0,020 \leq St$ (Выражение 1), $0,015t2 + 0,020 \leq Ht$ (Выражение 2).</p>
2) Установка для контактно-точечной конденсаторной приварки выводов электрохимической защиты трубопровода	<p>RU 129 035 U1 Заявка: 2012158232/02, 25.12.2012 Дата публикации: 20.06.2013 Бюл. № 17 Автор(ы): Шкода Игорь Анатольевич (RU)</p>	<p>Формула изобретения: «Установка для контактно-точечной конденсаторной приварки выводов для электрохимической защиты трубопровода, выполненных с клеммой, содержащая блок источника питания, гибкий токоподвод с концевым фиксатором, при этом блок источника питания содержит размещенные в корпусе выпрямительный блок, включающий, по крайней мере, один инвертор, накопительный блок, включающий, по крайней мере, один аккумулятор, а также цепь подзарядки аккумулятора, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит устройство фиксации упомянутой клеммы, состоящее из соединенных между собой двух секций, причем первая секция устройства фиксации упомянутой клеммы выполнена в виде металлического полого корпуса со съемной крышкой, в полости корпуса установлен механизм перемещения</p>

Продолжение таблицы 1

		<p>магнитного прижима с ручным приводом, расположенным на внешней поверхности корпуса, вторая секция устройства фиксации упомянутой клеммы выполнена в виде немагнитического полого корпуса со съемной крышкой, при этом на торцевой стороне корпуса, противоположной крышке, выполнено отверстие, внутри корпуса вдоль продольной оси расположена пружина, одной стороной упирающаяся в крышку, а другой стороной - в двухступенчатый прижимной шток, выступающий из корпуса через отверстие в его нижней торцевой стороне, при этом блок источника питания дополнительно содержит разрядный блок, выполненный в виде секции емкостных конденсаторов, и блок управления, гибкий токоподвод выполнен в виде двух гибких кабелей, при этом один кабель подключен к отрицательному полюсу разрядного блока источника питания и закреплен на наружной поверхности боковой стороны корпуса первой секции устройства фиксации упомянутой клеммы, а другой кабель подключен к положительному полюсу разрядного блока источника питания и выполнен с концевым фиксатором, выполненным в виде металлического корпуса с продольным пазом для размещения оголенной части вывода электрохимической защиты и фиксирующего элемента, установленного в резьбовом отверстии корпуса и предназначенного для фиксации оголенной части вывода электрохимической защиты в корпусе концевого фиксатора» [26].</p>
<p>3) Сварочный пистолет</p>	<p>RU 2 664 991 С9 Заявка: 2016143408, 16.03.2015 Дата публикации заявки: 03.05.2018 Бюл. № 13 Автор(ы): ФУКУИ Чиаки (JP), ТАКЕДА Кеничи (JP)</p>	<p>Формула изобретения: 1. Сварочный пистолет (10А, 10В), содержащий корпус (12), зажимной рычаг (16), выполненный с возможностью поворота относительно корпуса (12), блок (14, 138) привода, выполненный с возможностью привода зажимного рычага (16) и снабженный выходным элементом, совершающим линейное перемещение, механизм (18) передачи движущей силы, выполненный с возможностью преобразования линейного перемещения выходного элемента в поворотное перемещение зажимного рычага (16) и передачи движущей силы блока (14, 138)</p>

Продолжение таблицы 1

		<p>привода на зажимной рычаг (16), первый электрод (20), закрепленный на зажимном рычаге (16), и второй электрод (22), выполненный с возможностью захвата обрабатываемой детали, размещенной между первым электродом (20) и вторым электродом (22) при этом механизм (18) передачи движущей силы содержит соединительное звено (86), соединенное с выходным элементом и снабженное сформированным на нем наклонным участком (94), выполненным с возможностью перемещения как одно целое с выходным элементом при его линейном перемещении и наклоном относительно направления перемещения выходного элемента, и отжимной элемент (96), выполненный с возможностью перемещения с помощью наклонного участка (94), причем зажимной рычаг (16) выполнен с возможностью выработки зажимного усилия в результате поворота, сопровождающего упомянутое перемещение отжимного элемента (96).</p> <p>2. Сварочный пистолет (10В) по п. 1, отличающийся тем, что выходной элемент выполнен в виде штока (142) поршня, а блок привода (138) содержит множество поршней (54а, 54b), закрепленных на штоке (142) поршня на расстоянии один от другого в осевом направлении штока (142) поршня.</p> <p>3. Сварочный пистолет (10А, 10В) по п. 1, отличающийся тем, что механизм (18) передачи движущей силы дополнительно содержит соединительный рычаг (90), выполненный с возможностью перемещения в направлении пересечения с направлением перемещения выходного элемента и установленный с возможностью поворота относительно соединительного звена (86).</p>
<p>4) Пистолет для контактной точечной сварки</p>	<p>RU 2 638 472 С2 Заявка: 2016120430, 25.05.2016 Дата публикации: 13.12.2017 Бюл. № 35 Автор(ы): Володин Алексей</p>	<p>Формула изобретения Пистолет для контактной точечной сварки, содержащий корпус, установленный в нем электрододержатель с электродом, соединенный с электропроводом, систему поддува инертного газа и выключатель, имеющий кнопку включения/выключения сварочного тока с одновременным пуском инертного газа в зону сварки, отличающийся тем, что система поддува инертного газа</p>

Продолжение таблицы 1

	Юрьевич (RU), Белоножкова Екатерина Юрьевна (RU), Величко Василий Васильевич (RU)	установлена на электроде и выполнена в виде насадка, состоящего из шайбы с отверстиями и корпуса с каналом, соединенным со шлангом подвода инертного газа, при этом электродержатель соединен с электропроводом пайкой, а электрод установлен в электродержателе путем конусной посадки и зажат кольцом.
5) Способ точечной электроконтактной сварки алюминия и его сплавов	RU 2 374 049 C1 Заявка: 2008131232/02, 28.07.2008 Дата публикации: 27.11.2009 Бюл. № 33 Автор(ы): Федорин Михаил Александрович (RU), Соцкая Ирина Марковна (RU), Орлов Павел Сергеевич (RU)	Формула изобретения Способ точечной электроконтактной сварки алюминия и его сплавов, включающий применение жестких режимов сварки при плотностях тока, достигающих 1600 А/мм ² , и удельных давлениях до 150МПа с предварительной очисткой свариваемых поверхностей от пленки окиси алюминия, отличающийся тем, что для локализации тепловыделения в контакте при сварке пластин толщиной 3-12 мм между ними располагают стальную малоуглеродистую фольгу толщиной 0,05-0,2 мм и в течение одного цикла сварки пропускают от 1 до 9 импульсов сварочного тока продолжительностью 0,1-0,25 с, с нагревом стальной малоуглеродистой фольги до температуры 1200К, а в паузах между импульсами, составляющих 0,5-20 с, производят интенсивное охлаждение наружных поверхностей до достижения фольгой температуры 820К, причем диаметр электродов Dэ, мм для точечной сварки принимают равным: $Dэ=(1,5δ+5)$, где δ - толщина свариваемых пластин, мм; при расстояниях между точками 2Dэ и радиусе сферической контактной поверхности электрода R=(100-200), мм.
6) ELECTRIC PRESSURE WELDING METHOD Способ сварки электрическим давлением	Заявка: WO2019088796 (A1) — 2019-05-09 Дата публикации заявки 2018-11-06 Автор(ы): HONG SUNG-TAE [KR]; TRAN VAN LOI [KR]; LI YONGFANG [KR]; NGUYEN	Формула: Способ сварки электрическим давлением в соответствии с настоящим изобретением включает в себя соединение первого металлического элемента и второго металлического элемента, который может быть механически прикреплен друг к другу, с использованием устройства для сварки электрическим давлением, включающего в себя деталь для приложения давления, для приложения давления к первому металлический элемент и фиксирующая

Продолжение таблицы 1

	<p>THI ANH NGUYET [KR]</p>	<p>часть, расположенные для контакта со вторым металлическим элементом. Способ сварки электрическим давлением включает в себя: этап механического крепления для механического крепления первого металлического элемента ко второму металлическому элементу; этап соединения электродной части для соединения электродной части со вторым металлическим элементом и первым металлическим элементом, механически прикрепленным ко второму металлическому элементу; и этап сварки электрическим давлением для сварки электрическим давлением первого металлического элемента и второго металлического элемента путем подачи тока к части электрода и приложения давления к первому металлическому элементу с помощью части приложения давления.</p>
<p>7) RESISTANCE WELDING FASTENER, APPARATUS AND METHODS FOR JOINING SIMILAR AND DISSIMILAR MATERIALS Приспособление для сварки сопротивлением, оборудование и методы для соединения однородных и неоднородных материалов</p>	<p>Заявка: US2019134738 (A1) — 2019-05-09 Дата публикации заявки 2018-12-05 Автор(ы): SPINELLA DONALD J [US]; BERGSTROM DANIEL [US]</p>	<p>Формула: Устройство и способ крепления слоев цветных сплавов, таких как алюминий, магний и медь, используют стальную застезку и машину точечной сварки. Застезка и металлы уложены друг на друга, а тепло от электрического тока сварщика смягчает алюминий с более низкой температурой плавления, позволяя застезке проникать в алюминий. Зона сварки между крепежом и различными слоями создает внутренний шов. Застезка имеет шероховатый стержень, который покрыт зоной расплавленного сварного шва, и его трудно извлечь при затвердевании. Слои непроводящих материалов, таких как пластик и керамика, также могут быть прикреплены к проводящему слою с использованием крепежного элемента, изготовленного из совместимого материала, который проходит через направляющее отверстие и приваривается или проникает в проводящий слой. Крепеж может иметь выступы, которые первоначально уменьшают площадь контакта со стопкой.</p>

Таким образом, после проведения патентного поиска по базе ФИПС, а также изучения зарубежных источников была получена информация о способах контактной сварки, установках и оборудовании для проведения контактной

сварки. Однако не был найден патент, описывающий влияние усилия прижатия при контактной точечной сварке на прочность сварного соединения. Поэтому необходимо провести эксперимент, который наглядно покажет зависимость прочностных качеств сварного соединения от усилия прижатия при контактной точечной сварке при прочих равных параметрах и условиях.

2 Планирование эксперимента

Так как в литературе, научных публикациях и патентах не была найдена информация о конкретном влиянии усилия прижатия при контактной сварке необходимо провести собственный эксперимент. Для определения усилия прижатия можно использовать специальные измерительные приборы. В данном случае будет изучаться возможность использования динамометра ДОСМ 3-1 непосредственно в процессе сварки образцов. При невозможности использования динамометра в процессе сварки будет рассмотрена возможность его применения для составления тарировочного графика. Либо в случае невозможности технического использования данного динамометра с контактной сварочной машиной МТК-35 будет оценена возможность использования тарированных весов для получения необходимого усилия.

После этого необходимо разработать методику проведения эксперимента. В ней должен описываться порядок действий при подготовке оборудования и образцов, во время проведения эксперимента, а также при последующей обработке результатов.

Также необходимо нарисовать схему сварочной машины для того, чтобы подробно изучить конструкцию установки, а также для наглядности при описании методики проведения эксперимента.

2.1 Методика проведения эксперимента по измерению усилия прижатия при точечной контактной сварке

2.1.1 Описание Динамометра ДОСМ-3-1

Для измерения усилия сжатия планируется использовать динамометр ДОСМ-3-1. Схема динамометра представлена на рис.1, внешний вид на рис.2 и 3.

Динамометр ДОСМ-3-1 состоит из упругого элемента (силового) в виде металлической скобы 1, индикатора 2, накладки 3, шарика 4, упора 5, рычага 6 и основания 7.

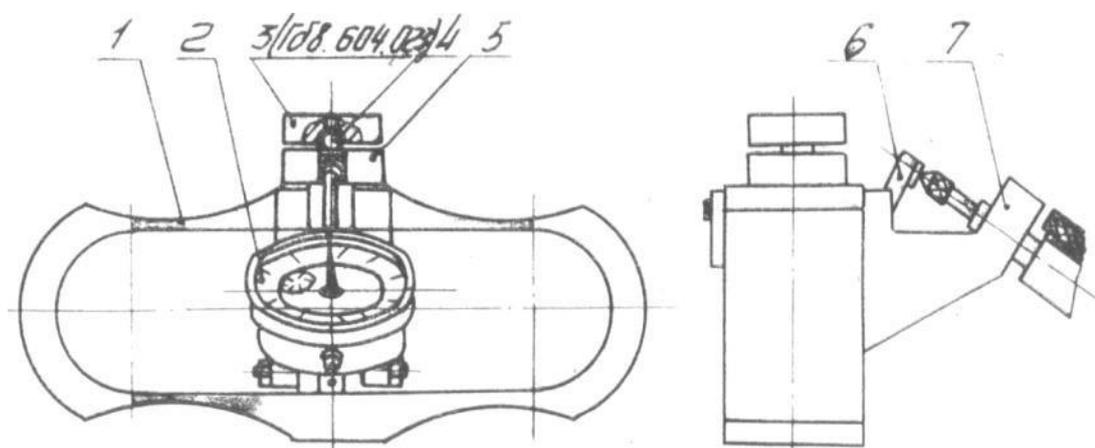


Рисунок 2.1 – Схема динамометра ДОСМ 3-1

У динамометра, представленного на рис. 2.1, упругий элемент 1 воспринимает нагрузку через накладку 3, шарик 4 и через упор 5. «Под действием нагрузки, например усилие сжатия электродов при контактной сварке, упругий элемент деформируется и передает величину своего прогиба на индикатор 2 непосредственно через рычаг 6. Индикатор закреплен в основании 7 динамометра» [27].



Рисунок 2.2 – Динамометр ДОСМ-3-1 в чехле

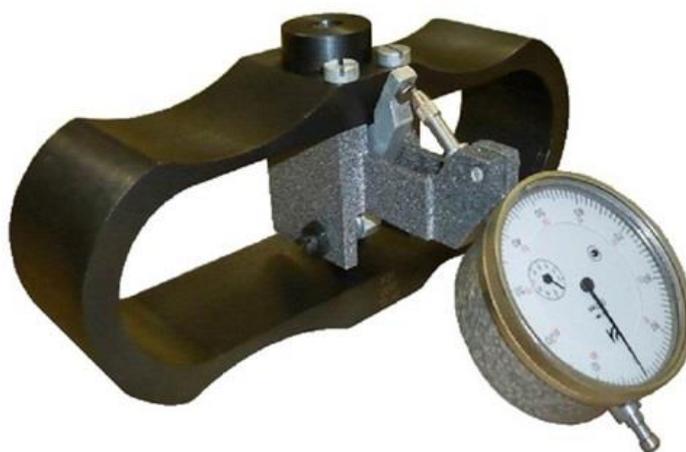


Рисунок 2.3 – Внешний вид динамометра ДОСМ-3-1.

Динамометр образцовый переносный рис. 2.2 и 2.3 предназначен для поверки испытательных рабочих средств измерений при статических нагрузках.

«Динамометр работает по принципу определения силы и величины деформации силового упругого элемента 1 специальной формы» [27].

Справочные сведения по выпускаемым модификациям динамометров указаны в табл. 2.1.

Таблица 2.1 - Справочные сведения по выпускаемым модификациям динамометров

Модификации динамометров	Справочные сведения		
	Номер Госреестра	Обозначение документации	
		на изделие	на футляр
ДОСМ-3-0,05 ДОСМ-3-0,1	2788-71	Г62.782.031	Г66.875.065
	2788-71	Г62.782.032	Г66.875.065
ДОСМ-3-0,2 ДОСМ-3-5	2283-67	Г62.782.007	Г66.875.065
	702-64	Г62.782.028	Г66.875.110
ДОСМ-3-1	702-64	Г62.782.034 Г62.782.034-03	Г66.875.221 Г66.875.221-03
ДОСМ-3-3	702-64		

Модификации динамометров, коды ОКП и наибольшие пределы измерения должны соответствовать указанным в табл. 2.

Таблица 2.2 – Наибольшие пределы измерения

Модификации динамометров	Коды ОКП динамометров	Наибольшие пределы измерения, kN(тс)
ДОСМ-3-0,05 ДОСМ-3-0,1	42 7323 2002 04	0,5 (0,05)
ДОСМ-3-0,2	42 7323 2007 10	1,0 (0,10)
ДОСМ-3-1	42 7323 2012 02	2,0 (0,20)
ДОСМ-3-3	42 7323 2018 07	10,0 (1,00)
ДОСМ-3-5	42 7323 2023 10	30,0 (3,00)
	42 7323 2028 05	50,0 (5,00)

Основные параметры и размеры должны соответствовать значениям, указанным в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Параметры динамометра

Наименование параметра	Нормы					
Пределы измерений, кN (тс): наибольший	0,5	1,0	2,0	10,0	30,0	50,0
	(0,05)	(0,10)	(0,20)	(1,00)	(3,00)	(5,00)
наименьший	0,03	0,10	0,20	1,00	3,00	5,00
	(0,003)	(0,010)	(0,020)	(0,10)	(0,300)	(0,500)
Цена наименьшего деления шкалы от наибольшего предела измерения, %, не более	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15
Габаритные размеры, мм, не более:						
длина	260	260	260	190	202	272
ширина	50	50	50	165	165	165
высота	145	145	145	105	115	115
Масса, кг, не более:						
динамометра	1,5	1,6	1,7	2,0	2,4	3,4
футляра	1,3	1,3	1,3	1,5	1,5	2,0

Комплект поставки динамометра должен соответствовать табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Комплект поставки

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
См. табл. 1 Г68.604.023	Составные части изделия		
	Собственно, динамометр	1	В футляре
	Накладка	1	То же
См. табл. 1 Г62.782.007 ПС	Шарик 10-100 mm ГОСТ 3722—81	1	
	Укладка		
	Футляр	1	
Г62.782.007 ПС	Эксплуатационная документация		
	Паспорт	1	В футляре

После изучения технической документации на измерительный прибор, было выявлено, что динамометр ДОСМ-3-1 полностью удовлетворяет требования эксперимента в плане точности и пределов измерений.

2.1.2 Порядок работы с прибором

Установите динамометр на опорную поверхность реверсора (стола и т. п.) силового устройства поверяемого средства измерения, и приступите к поверке.

Поверку испытательных рабочих средств измерений (машин, прессов и рабочих динамометров) проводите в соответствии с требованиями специально разработанных стандартов или инструкций на методы и средства их поверки.

Не допускайте падения динамометра с какой-либо высоты, не подвергайте его встряхиваниям и вибрациям. При нарушении нормальных условий эксплуатации устраните неисправности и проведите поверку динамометра.

Не допускайте длительного колебания указателя отсчетного устройства динамометра — это приводит к преждевременному износу ответственных деталей и повышению погрешности показаний динамометра.

После поверки динамометр и съемные детали протрите мягкой ветошью и уложите в футляр вместе с эксплуатационной документацией.

Соблюдайте правила техники безопасности при проведении поверки динамометра.

После ознакомления с технической документацией к динамометру и порядком проведения работ с использованием прибора были сделаны выводы касательно возможности его применения в ходе эксперимента. Так как данная конструкция не позволяет проводить измерения с прохождением тока через его скобу 1, то этот прибор не может быть использован для активного измерения усилия сжатия электродов вовремя точечной контактной сварки. Также разместить этот прибор в конструкции сварочной машины без ущерба функциональности не представляется возможным. Таким образом,

динамометр ДОСМ-3-1 применяться непосредственно при проведении эксперимента не будет.

2.2 Составление тарировочного графика

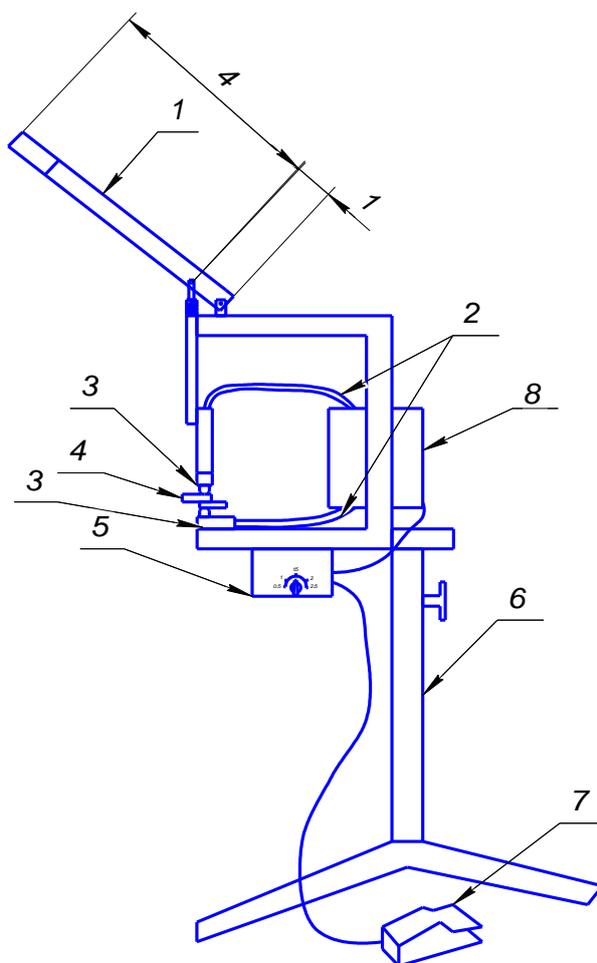
Однако, этот прибор можно использовать только для измерений без пропускания через него сварочного тока. Паспорт этого динамометра не имеет тарировочного графика, зависимости показаний индикатора от усилия прижатия. Следовательно, можно провести эксперимент по составлению тарировочного графика. Для этого необходимо собрать компоновочную схему (рис. 2) состоящую из машины для контактной точечной сварки с зажатым между сварочными электродами данного динамометра и повешенным на рычаге машины грузом. Рычаг сжатия имеет плечо заданное конструкцией машины 1:4. Подвешивая на конце рычага груз определенной величины, имеем фактической усилие прижатия электродов в четыре раза больше.

Таким образом, данный динамометр не может быть использован непосредственно в процессе сварки образцов. Однако теоретически может применяться для тарировки и определения прикладываемой нагрузки перед сваркой. Но фактически конструкция сварочной машины МТК-35 не позволяет использовать данный динамометр. Поэтому эксперимент для магистерской диссертации будет проводиться с помощью весов определенного номинала, подвешенных к рычагу сварочной машины.

2.3 Методика проведения эксперимента

Перед проведением эксперимента необходимо подготовить образцы. В качестве образцов будут использоваться пластины из материала Сталь3. Пластины размером примерно 150x25 мм необходимо нарезать из листа с помощью гильотины или, в случае невозможности ее использования – с

помощью угловой шлифовальной машины. После нарезки необходимо выровнять кромки пластин для лучшего прилегания, а также снять зазубрины и заусенцы металла для исключения вероятности получения травм в ходе эксперимента.



1 – рычаг, 2 – токоподвод, 3 – сварочный электрод, 4 – свариваемая деталь, 5 – блок управления, 6 – телескопическая стойка, 7 – педаль-выключатель.

Рисунок 2.4 – Схема сварочной машины МТК-35

Затем можно приступать к эксперименту. Между сварочными электродами (3) рис.2 устанавливаем внахлест образцы из углеродистой стали толщиной 1мм. Образцы выбираем размером 150x25.

Рычагом контактной машины (1) рис.2.4 производим сжатие образцов, тем самым фиксируя их и вешаем первый вес-5кг. Далее производим сварку, пропуская электрический ток через зажатые заготовки, нажав на педаль контактной машины (7) рис.2.4. Время сварочного импульса выставляется заранее на блоке управления сварочной машины (5) рис.2. Время протекания сварочного тока будет подобрано экспериментально перед началом основной части эксперимента. После окончания процесса сварки, остывания сварной точки, извлекаем сваренные образцы.

Из-за конструкции рычага сварочной машины 1:4 на свариваемые детали фактически прикладывается усилие в 4 раза большее, чем закреплённый на рычаге вес т.е. 20 кг. Затем увеличиваем закреплённый вес на 5 кг (становится равный 10 кг) и повторяем эксперимент сварки новых уложенных образцов с усилием сжатия 40 кг. Увеличивая в дальнейшем подвешенный груз на 10 кг (20, 30, 40, 50 кг), получим соответствующее усилие прижатия (80, 120, 160, 200кг). Таким образом, можно провести эксперимент вплоть до усилия 200 кг. В результате сварим шесть образцов с различным усилием сжатия: 20, 40, 80, 120, 160, и 200кг. Все остальные параметры сварки (величина тока, время сварки) остаются без изменений.

После того как сварка всех образцов завершена, необходимо провести проверку качества полученных сварных соединений, путем испытания на растяжение на разрывной машине. Образцы закрепляются в разрывной машине, прикладывается усилие, а после разрыва записывается результат, показанный на шкале машины.

Также после сварки необходимо изучить полученные образцы. Замерить диаметр сварной точки с обеих сторон пластины, а также ЗТВ для определения влияния усилия прижатия на эти параметры. Для наглядности

представления данных необходимо составить графики и сравнить с известными данными из изученных ранее статей.

По полученным результатам испытания на разрывной машине нужно составить график зависимости прочности сварного соединения от усилия прижатия при сварке. Сами разорванные образцы необходимо изучить на характер разрушения – как произошел разрыв (разделение листов, с вырыванием сварной точки, по основному металлу и т.д.)

3 Экспериментальная часть

После того как были изучены теоретические аспекты процесса контактной точечной сварки, изучена возможность применения специальных измерительных приборов и спланирована последовательность действий при проведении эксперимента необходимо получить практическое подтверждение теоретических данных. Для того чтобы выявить зависимость влияния усилия прижатия при контактной сварке на прочность полученного соединения необходимо провести эксперимент. Было принято решение провести сварку металлических пластин из материала Сталь 3 на контактной сварочной машине МТК-35. Выбор материала обусловлен его распространенностью и доступностью. Сварочная машина была из доступных вариантов для проведения эксперимента, как наиболее простая и в то же время подходящая под задачи.

В ходе эксперимента необходимо выполнить сварку нескольких образцов с разным усилием прижатия. Выявить отличия в процессе сварки при разных усилиях прижатия (выплески, отличия сварных точек и т.д.).

Впоследствии сваренные образцы необходимо испытать на прочность на разрывной машине.

3.1 Проведение эксперимента

Сварка экспериментальных образцов будет производиться на контактной сварочной машине МТК-35. Сварочная машина (рис. 2.4) состоит из телескопической стойки (6), регулируемой по высоте, на которой закреплена рама, имеющая подпружиненный рычаг (1) для сжатия свариваемых деталей (4). Величина сжатия деталей зависит от усилия приложенного сварщиком к концу рычага (1) вниз. Детальные фотографии сварочной машины представлены на рисунках 2 – 5.

К раме закреплен сварочный трансформатор (8), соединенный одним силовым токопроводом (2) с верхним электродом (3), а другим с нижним электродом. В нижней части рамы прикреплен электронный блок управления временем сварки (5), имеющий ручку плавного регулирования и шкалу от нуля до 2,5 секунд (рис. 2.4).

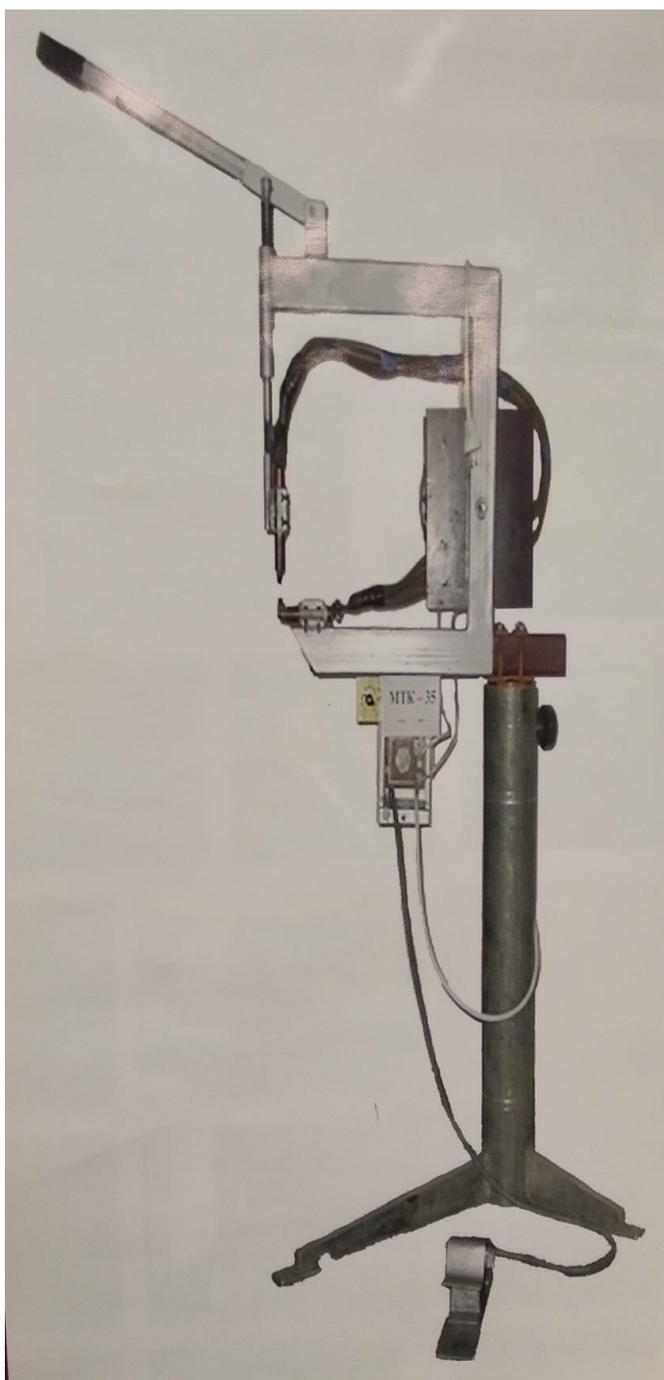


Рисунок 3.2 – Внешний вид сварочной машины МТК-35



Рисунок 3.3 – Элементы управления сварочной машиной МТК-35



Рисунок 3.4 – Блок управления временем сварки



Рисунок 3.5 – Привод сжатия сварочной машины МТК-35

Таблица 3.1 – Техническая характеристика МТК-35

1. Напряжение питания, В	220
2. Номинальная мощность, кВА	35
3. Номинальный ток сварки, А	6300
4. Диапазон изменения времени сварки, с	0 - 2,5
5. Свариваемые толщины до, мм	1,5 + 1,5
6. Масса, кг	32

Схема сварочного поста, который будет использоваться при проведении эксперимента для диссертации представлена на рисунке 3.7.

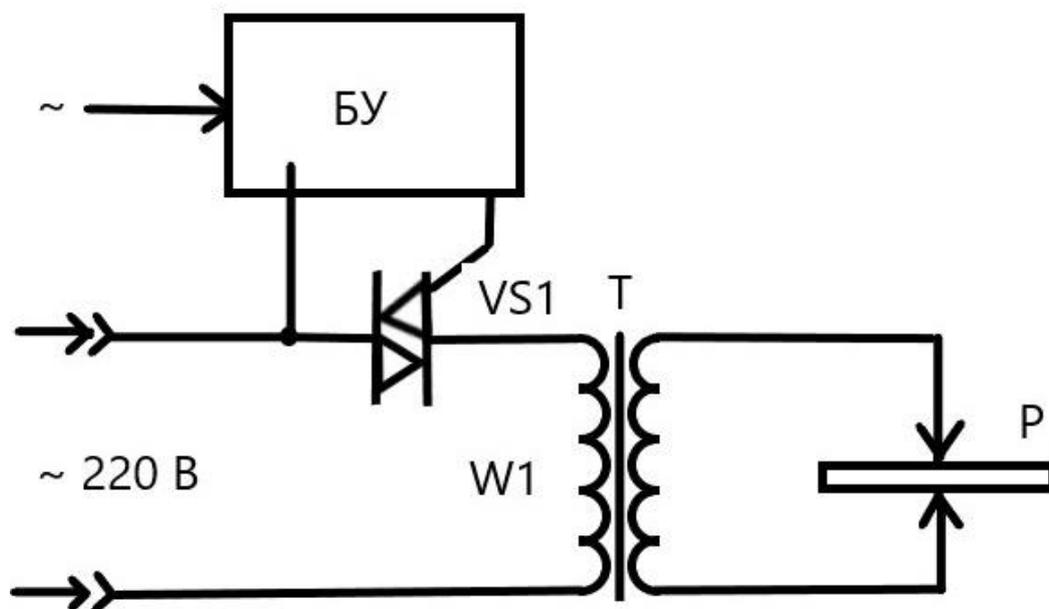


Рисунок 3.7 – Схема сварочного поста

Сварочный аппарат питается от бытовой сети – переменного тока 220 В. БУ – блок управления, который регулирует длительность импульса сварки. VS1 – тиристоры. Т – трансформатор повышающий сварочный ток.

Для эксперимента были подготовлены семь пар образцов размером 30x135мм и толщиной 1.2мм изготовленных из Сталь 3. Заготовки были нарезаны на гильотине, а перед процессом сварки, при необходимости, поверхность образцов выровнена молотком на наковальне, а кромки обработаны напильником от возможных заусенцев для более плотного прилегания образцов друг к другу и исключения возможности получения травм острой кромкой металла. Дополнительная зачистка поверхности образцов перед сваркой не производилась.

Параметры, установленные для процесса сварки, были следующими: номинальный ток сварки 6300А, задан конструктивными размерами сварочной машины. Время сварки установлено ручкой на регуляторе блока управления и определялось временем отключения тиристора, включенного в первичной цепи трансформатора, т.е. высокого напряжения. Данные

параметры: ток и время сварки оставались неизменными на протяжении всего эксперимента, при сварке всех семи пар образцов. При сварке опытных образцов изменялось только усилие прижатия, за счет прикладывания на конце рычага (1) сварочной машины разного усилия.

Перед сваркой опытных образцов экспериментальным образом было подобрано необходимое время сварки на образцах из того же материала и тех же геометрических параметров. Для этого производилась сварка на одном и том же усилии прижатия, но с разным временем протекания сварочного тока. Субъективно было определено, что при времени сварки равной двум секундам, в сварной точке обеспечивается достаточное проплавление и достигается хорошая прочность соединения по сравнению с другими опробованными временными интервалами.

Сварка образцов выполнялась по разработанной ранее методике. Процесс сварки происходил следующим образом. Пластины устанавливались внахлест (рис.3.8) между электродами сварочной машины (3) рис.3.1, 3.2, 3.5 и зажимались, путем подвешивания к концу рычага различных по величине масс. Величина нахлеста образцов (рис.3.8) приблизительно равна ширине пластины 30 мм. Электроды сварочной машины располагались по центру нахлесточного соединения.

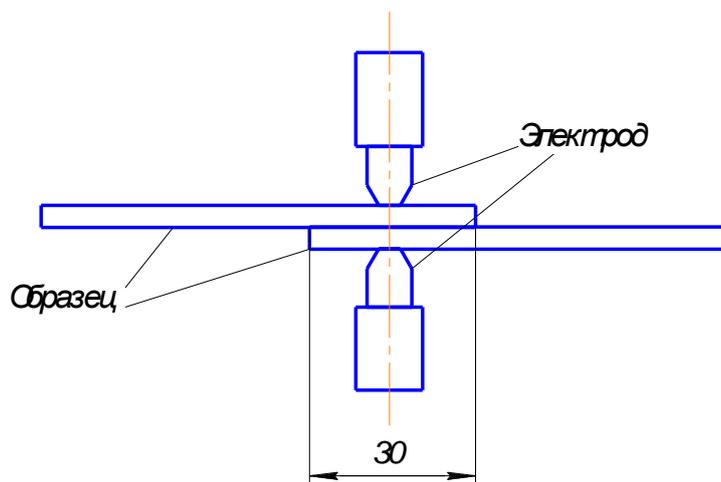


Рисунок 3.8 - Схема сборки образцов

Затем рычагом контактной машины (1) рис.3.1 и 3.6 производилось сжатие образцов, тем самым фиксируя их. На рычаг последовательно подвешивался груз, массой 5, 10, 20, 30, 40 и 50 кг. Благодаря конструкции рычага сварочной машины и соотношению плеч 1:4, на свариваемые детали прикладывалось усилие в 4 раза больше подвешенной массы на рычаге, и составляло от 20 до 200кг.

После сборки и зажатия образцов, производили нажатие на педаль (7) рис.1, включалось питание сварочной машины и производилась сварка, путем пропускания сварочного тока через медные электроды и, соответственно, зажатые между ними заготовки. Время сварки, заданное заранее регулятором, выдерживалось электронным блоком управления, а по окончании заданного времени, машина автоматически выключалась.

После окончания процесса сварки с рычага снимался вес и извлекались образцы из электродов сварочной машины. Образцы маркировались для их дальнейшей идентификации во время проведения испытания на прочность на разрывной машине. Маркером на обе пластины наносилась маркировка

(рис.3) T1. T1 – образец сваренный с приложенным весом 5кг, а усилием сжатия – 20 кг.

Затем в сварочной установке зажималась следующая пара образцов, подвешивалась следующая масса и процесс сварки повторялся. После сварки на образцы наносилась соответствующая маркировка T2 – образец сваренный с приложенным весом 10кг, T3 – образец сваренный с приложенным весом 20кг, T4 – образец сваренный с приложенным весом 30кг, T5 – образец сваренный с приложенным весом 40кг, T6 – образец сваренный с приложенным весом 50кг, T7 – образец сваренный с приложенным весом около 0кг (рис. 3). Усилие сжатия на образцах составляло: T1 - 20кг, T2 - 40 кг, T3 - 80кг, T4 - 120кг, T5 - 160кг, T6 – 200кг, T7 – 0 кг.

Внешний вид образцов с обеих сторон представлен на рисунках 3.9 и 3.10. Параметры массы приложенного усилия и полученного усилия сжатия электродов для наглядности представлены в таблице 1.

Таблица 3.2 Усилия сжатия образцов

Номер образца	Масса усилия, кг	Усилие сжатия электродов, кг
T7	≈ 0	≈ 0
T1	5	20
T2	10	40
T3	20	80
T4	30	120
T5	40	160
T6	50	200

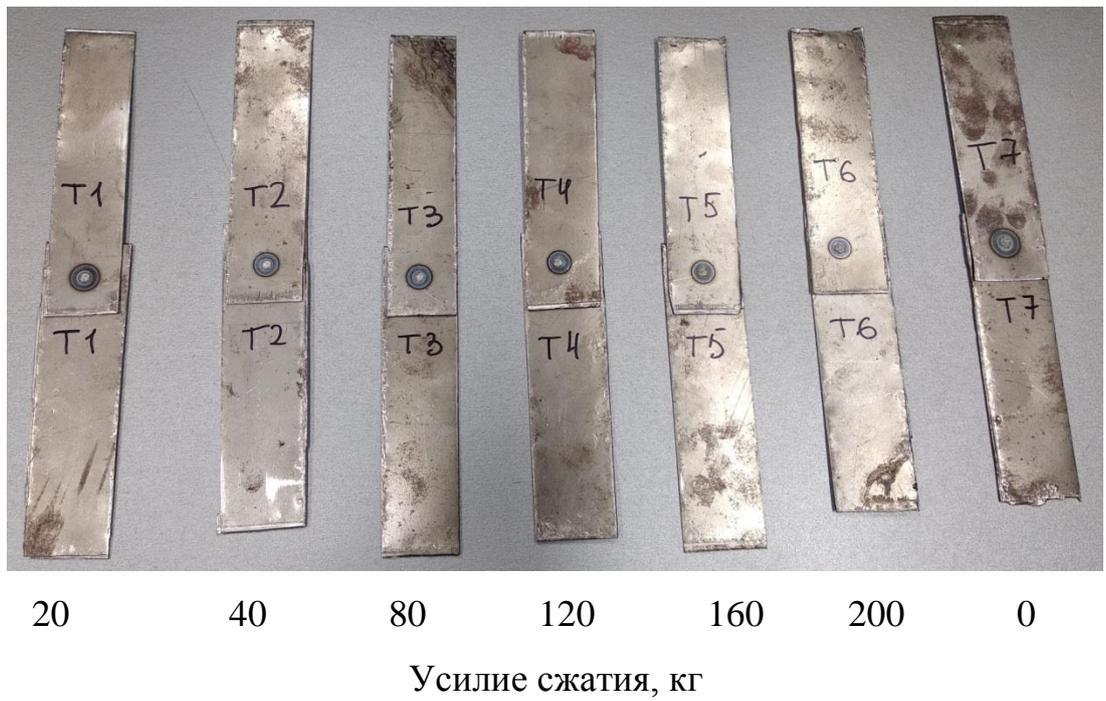


Рисунок 3.9 - Образцы, сваренные с различным усилием сжатия

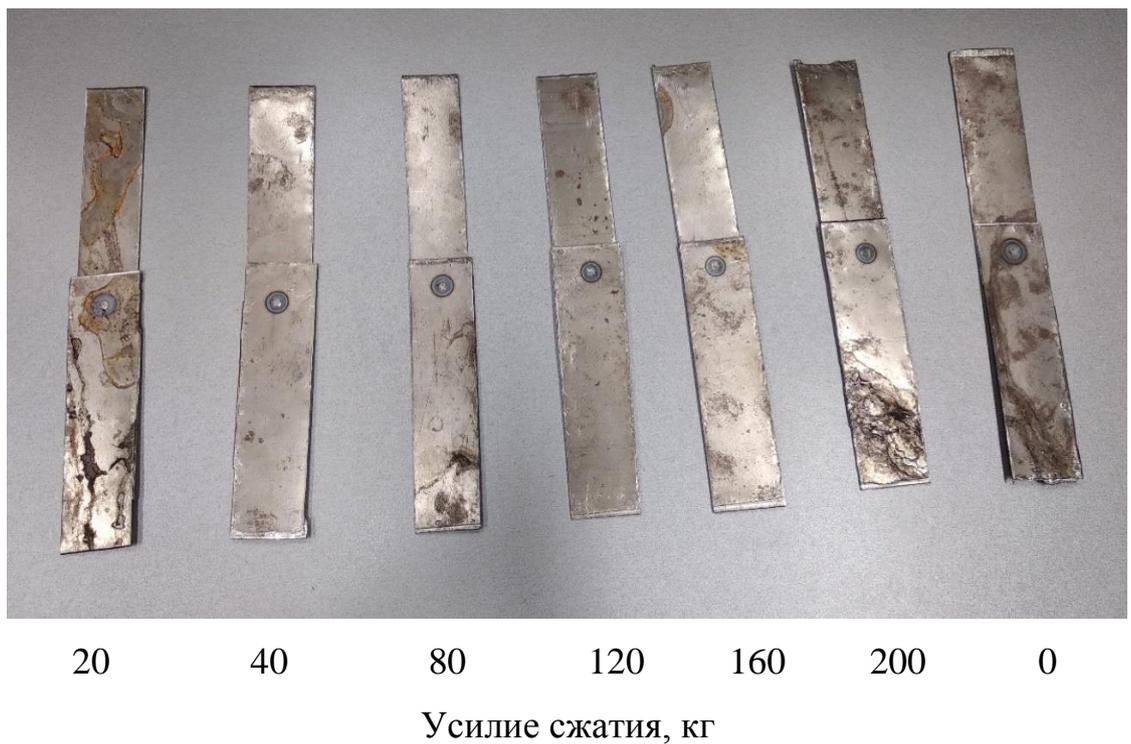


Рисунок 3.10 – Обратная сторона образцов, сваренных с различным усилием сжатия

После сварки образцов с весом от 5 до 50 кг было принято решение произвести сварку пластин без веса, то есть с усилием прижатия близким к

нулю. Это необходимо для того, чтобы установить прочность соединения без усилия прижатия, а также расширить диапазон измерений для построения графической зависимости. Процесс сварки данного образца аналогичен предыдущему за исключением того, что на рычаг не закреплялся вес, а электроды машины лишь сжимались до соприкосновения с образцами. Тем самым обеспечивалось усилие прижатия близкое к 0 кг. Все остальные параметры режима сварки оставались без изменений.

4 Обработка результатов эксперимента

4.1 Визуально измерительный контроль образцов

После сварки образцов производилось измерение размеров полученных сварных точек штангенциркулем с обеих сторон образцов (рис. 4.1 и 4.2), а также размер зоны термического влияния (таблица 4.1). Измерения производились аналогично для всех сваренных образцов. Замеры проводились одним и тем же механическим штангенциркулем с точностью до 0,1 мм для того, чтобы погрешности разных приборов не исказили картину измерений.

Данные измерения необходимы для установления зависимости размеров ядра сварной точки и зоны термического влияния в месте сварки от приложенного усилия прижатия электродов. Также эти данные необходимы для построения графиков зависимости геометрических размеров сварных точек от усилия прижатия сварочных электродов. Впоследствии некоторые из этих графики могут быть сопоставлены с графиками, полученными авторами статьи «Параметрическое исследование роста ядра сварной точки при точечной сварке листов из нержавеющей стали 304L, имеющих одинаковую и разную толщину».



Рисунок 4.1 - Измерение размеров сварной точки



Рисунок 4.2 – Измерение размеров ЗТВ

Таблица 4.1 - Результаты эксперимента по контактной сварке образцов с разным усилием сжатия электродов

Номер образца	Фото	Усилие прижатия, кг	Диаметр точки, мм			Примечание
			сверху	снизу	ЗТВ	
1	2	3	4	5	6	7
T1		20	4,5	4,6	11,5	Сталь 3, 135x30x1,2мм, выплеск при сварке
T2		40	4,4	4,5	10,5	Сталь 3, 135x30x1,2мм, выплеск при сварке

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
ТЗ		80	4,6	4,6	10,5	Сталь 3, 135x30x1,2мм, выплеск при сварке
Т4		120	4,4	4,5	10	Сталь 3, 135x30x1,2мм

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
Т5		160	4,5	4,5	10	Сталь 3, 135х30х1,2мм
Т6		200	4,6	4,5	9,7	Сталь 3, 135х30х1,2мм

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7
T7		0	5	5	13	Сталь 3, 135x30x1,2мм, выплеск при сварке

Визуальный контроль готовых образцов не выявил каких-либо дефектов или отклонений. На всех образцах была четко различимая сварная точка с цветами побежалости вокруг. Непровары, прожоги отмечены не были.

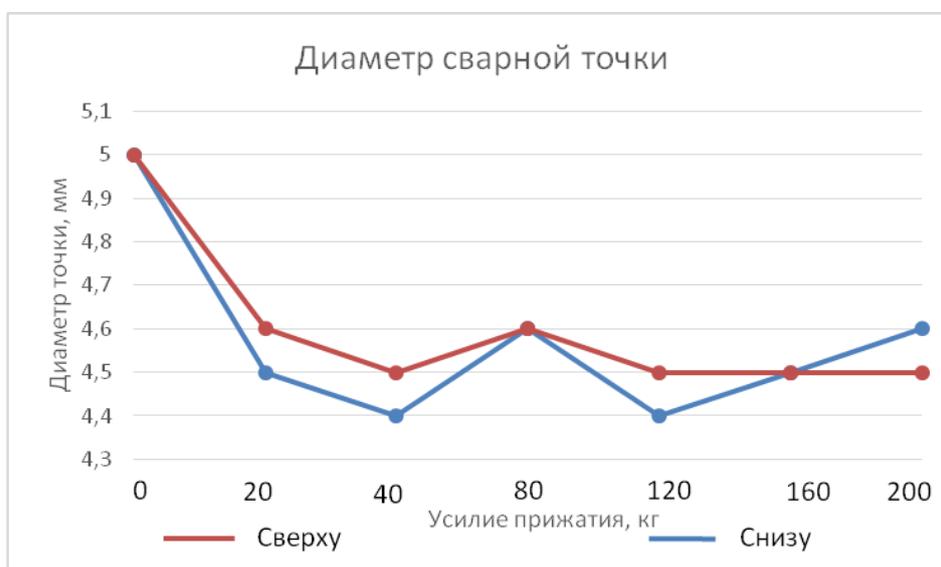
В процессе сварки были отмечены выплески расплавленного металла при усилии сжатия 0-80кг, чего не наблюдалось при усилии сжатия 120-200кг. Это может свидетельствовать о недостаточном усилии прижатия до значения 120кг, поскольку при усилии сжатия образцов от 120 до 200 кг, дефектов в виде выплесков не наблюдается. Следовательно, исходя из теоретических данных, при контактной сварке при данных режимах силы тока, времени сварки, а также геометрических и химических параметрах пластин, усилие должно быть не менее 120 кг.

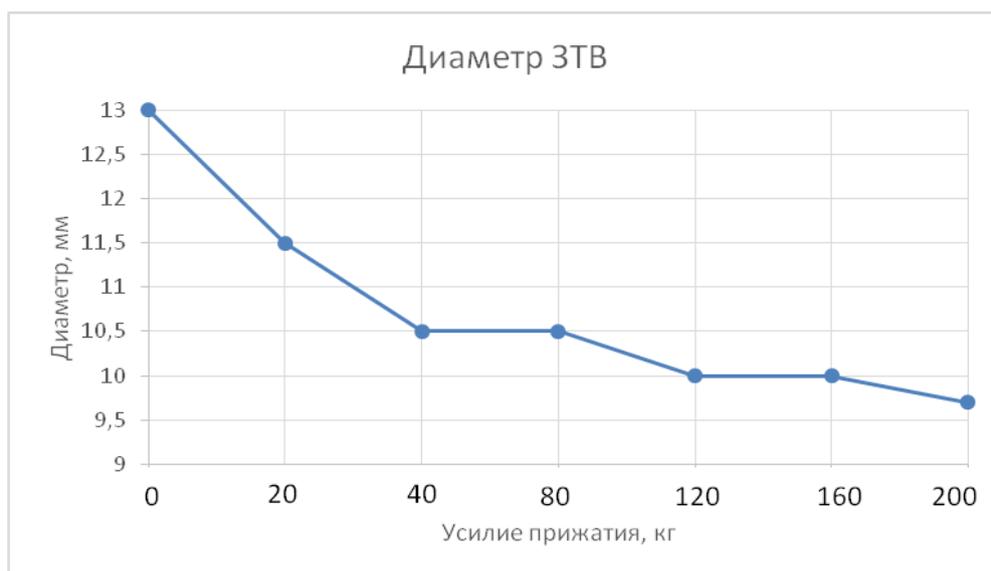
При визуальном осмотре также замечено, что с постепенным увеличением массы на рычаге, т.е. увеличение усилии прижатия, зона

термического влияния вокруг сварной точки постепенно уменьшилась. Это наглядно видно по цветам побежалости на образцах. После измерений были определены размеры ЗТВ - от 13 мм при усилии сжатия близкому к нулю до 9,7 мм при усилии сжатия 200 кг. Исходя из результатов замеров, можно сделать вывод, что усилие сжатия более благоприятно при величине приложенного веса не менее 30 кг. Поскольку при сварке этих образцов не наблюдалось выплесков, а также зона термического влияния снижается до минимального значения, полученного в результате эксперимента.

По полученным измерениям построены зависимости диаметра точки (рис.5а) и диаметра ЗТВ (рис.5б) от усилия прижатия. По этим графикам видно, что диаметр ядра сварной точки расположенной сверху уменьшается при повышении усилия прижатия от около нулевого значения до 20 кг (от 5 мм до 4,6 мм), а далее показания колеблются в диапазоне 0,1 мм (4,5 – 4,6 мм). Диаметр нижней сварной точки также снижается при увеличении усилия сжатия до 20 кг (от 5 мм до 4,5 мм), а дальше значения колеблются от 4,6 мм до 4,4 мм.

Из второго графика видно, что зона термического влияния при увеличении усилия сжатия стремительно снижается до усилия прижатия в 40 кг (от 13 мм до 10,5 мм), а далее ее размер плавно снижается до усилия в 200 кг (до 9,7 мм).





а) ядра, б) ЗТВ

Рисунок 4.3 - Диаметр точек, сваренных при различном усилии сжатия

Исходя из результатов визуально-измерительного контроля сваренных образцов и анализа построенных графиков зависимостей можно предположить, что наиболее высокими прочностными характеристиками будут обладать образцы, сваренные с усилием от 120 кг и выше. Для определения фактических прочностных свойств полученных образцов впоследствии необходимо произвести испытание на разрывной машине.

4.2 Испытание образцов на прочность

Для определения прочностных свойств полученных образцов необходимо произвести испытание на разрывной машине. Для этого этапа эксперимента была выбрана разрывная машина Р-10, как имеющаяся в наличии. После оценки ее технических характеристик стало ясно, что она полностью удовлетворяет требованиям и пригодна для проведения испытаний образцов на разрыв. Технические характеристики разрывной машины приведены в таблице 4.2. Внешний вид машины представлен на

рисунке 6. Испытания сварных соединений регламентируется ГОСТ 6996-66 и ГОСТ Р ИСО 15614-12-2009 [28], [29].

Таблица 4.2 - Технические характеристики разрывной машины Р-10

Технические характеристики	Значение
1	2
Наибольшая предельная нагрузка, кН	100
Диапазоны измерения нагрузки, кН	0-20; 0-50; 0-100
Максимальная высота рабочего пространства, мм, при испытании на - растяжение - сжатие	800 210
Рабочий ход активного захвата, мм	280
Диапазон скоростей перемещения активного захвата без нагрузки, мм/мин	8-300
Скорость установочного хода пассивного захвата, не менее, мм/мин	200
Предел допускаемой погрешности при измерении нагрузки, начиная с 20% наибольшего значения каждого диапазона, %	±1
Масштаб диаграммной записи перемещения активного захвата	5:1; 50:1
Размеры испытываемых образцов: - диаметр цилиндрических образцов, мм; - толщина x ширина плоских образцов, мм; - диаметр образцов с головками, мм	5-20 0,5-20x40 <20
Габаритные размеры, не более, мм: - длина - ширина - высота - углубление (прямоук)	1410 940 2485 350
Параметры питания	380 В, 50 Гц
Масса, не более, кг	1250

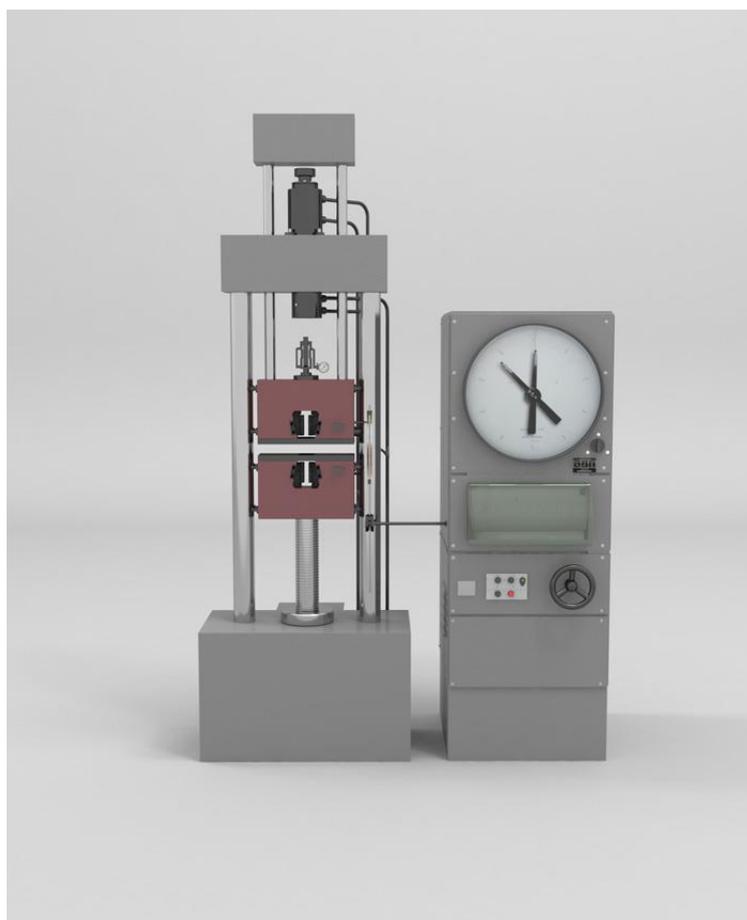


Рисунок 4.4 – Разрывная машина Р-10

После измерения размеров ядер сварных точек и зоны термического влияния, была произведена проверка сваренных точек на прочность на разрывной машине Р-10. Образцы поочередно закреплялись в разрывной машине, прикладывалось усилие, а после разрыва записывался результат показанный на шкале машины. Концы пластин были согнуты, для увеличения толщины листа, чтобы обеспечить лучший зажим в разрывной машине и снизить вероятность выскользывания образца. Схема разрыва образца, а также схема разрывной машины представлены на рис. 4.5 и 4.6.

Фиксировались особенности испытания на прочность сварного образца, такие как деформация пластин, вырывание ядра сварной точки, разрушение по основному металлу.

По полученным результатам (табл. 1.2) строился график зависимости прочности сварного соединения от усилия прижатия при контактной сварке. На рис.4.7-4.13 представлены фотографии образцов после испытания.

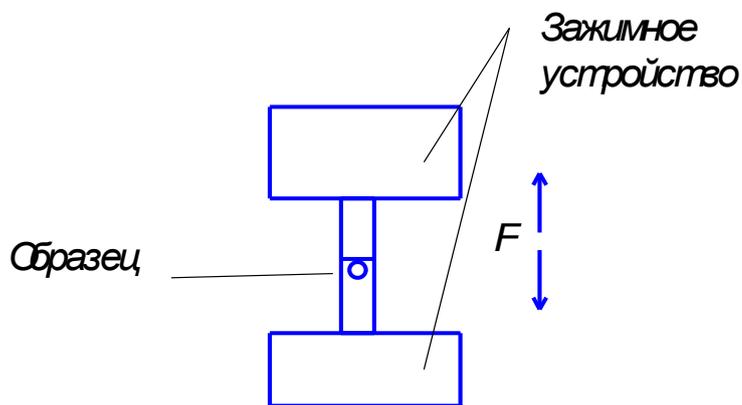


Рисунок 4.5 – Схема испытания образца

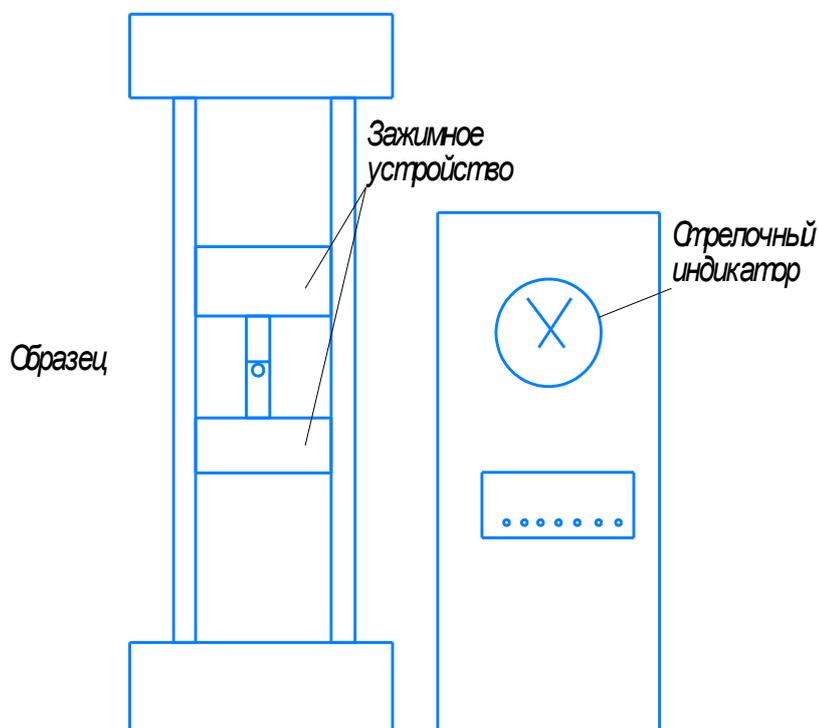


Рисунок 4.6 – Схема разрывной машины



Рисунок 4.7а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 20 кг



Рисунок 4.7б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренные при усилии сжатия 20 кг



Рисунок 4.7в – Сварная точка образца Т1 после растяжения



Рисунок 4.7г – Изгиб образца Т1 после испытания

Образец Т1, сваренный при усилии сжатия 20кг выдержал в прочностном испытании усилии 530 кгс. Разрыв образца произошел со срезом литого металла. Рядом со сварной точкой присутствуют трещины, возникшие предположительно при разрыве образца. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения. Так как в процессе испытания на срез наличие нахлестки обуславливает эксцентричное приложение нагрузки, в результате происходит изгиб образца и на сварную точку кроме усилии среза действует отрывающее усилии. Отсутствие изгиба при данном виде испытаний обычно свидетельствует о низкой прочности полученного соединения [28], [29], [30].



Рисунок 4.8а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 40 кг



Рисунок 4.8б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усилии сжатия 40 кг



Рисунок 4.8в – Сварная точка образца T2 после растяжения

Образец T2, сваренный при усилии сжатия 40кг выдержал в прочностном испытании усилии 511 кгс. Разрыв образца произошел с вырыванием ядра сварной точки из основного металла обеих пластин. В зоне сварной точки трещин и пор не обнаружено. Между сварными точками обнаружены следы внутреннего выплеска, появление которого возможно в случае малого усилии сжатия либо большого значения сварочного тока или

времени импульса. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.



Рисунок 4.9а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 80 кг



Рисунок 4.9б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усилии сжатия 80 кг



Рисунок 4.9в – Сварная точка образца ТЗ после растяжения

Образец ТЗ, сваренный при усилии сжатия 80кг выдержал в прочностном испытании усилие 482 кгс. Разрыв образца произошел с вырыванием ядра сварной точки из основного металла одной из пластин. В зоне сварной точки трещин, пор и выплесков не обнаружено. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.



Рисунок 4.10а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 120 кг



Рисунок 4.10б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усилии сжатия 120 кг



Рисунок 4.10в – Сварная точка образца T4 после растяжения

Образец T4, сваренный при усилии сжатия 120кг выдержал в прочностном испытании усилие 457 кгс. Разрыв образца произошел с вырыванием ядра сварной точки из основного металла одной из пластин. В

зоне сварной точки трещин, пор и выплесков не обнаружено. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.



Рисунок 4.11а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 160 кг



Рисунок 4.11б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усилии сжатия 160 кг



Рисунок 4.11в – Сварная точка образца T5 после растяжения

Образец Т5, сваренный при усилии сжатия 160кг выдержал в прочностном испытании усилие 412 кгс. Разрыв образца произошел со срезом литого металла. В зоне сварной точки трещин, пор и выплесков не обнаружено. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.



Рисунок 4.12а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия 200 кг



Рисунок 4.12б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усиллии сжатия 200 кг



Рисунок 4.12в – Сварная точка образца Т6 после растяжения

Образец Т6, сваренный при усиллии сжатия 200кг выдержал в прочностном испытании усиллие 403 кгс. Разрыв образца произошел со срезом литого металла. В зоне сварной точки трещин, пор и выплесков не

обнаружено. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.



Рисунок 4.13а - Образцы после растяжения, сваренные при усилии сжатия около 0 кг



Рисунок 4.13б – Обратная сторона образцов после растяжения, сваренных при усилии сжатия около 0 кг



Рисунок 4.13в – Сварная точка образца Т7 после растяжения

Образец Т7, сваренный при усилии сжатия около 0 кг выдержал в прочностном испытании усилие 617 кгс. Разрыв образца произошел с вырыванием ядра сварной точки из основного металла обеих пластин. В зоне сварной точки трещин и пор не обнаружено. Между сварными точками обнаружены следы внутреннего выплеска, появление которого возможно в случае малого усилия сжатия либо большого значения сварочного тока или времени импульса. В процессе испытания образцы подверглись изгибу, что свидетельствует о высокой прочности соединения.

Изгиб испытываемых пластин Т1 – Т7 составил от 2 до 7,8 мм в зависимости от усилия разрыва.

Для наглядности данные были собраны в таблицу. Для того чтобы визуально оценить изменение прочностных свойств образцов, был построен график зависимости прочности от усилия сжатия. Результаты прочностных испытаний представлены в таблице 4.3. График зависимости прочности

сварного соединения от усилия сжатия электродов представлен на рисунке 4.14.

Таблица 4.3 - Результаты испытания на растяжение

Номер образца	Усилие сжатия при сварке, кг	Прочность на разрыв, кгс
T7	≈ 0	≈ 617
T1	20	530
T2	40	511
T3	80	482
T4	120	457
T5	160	412
T6	200	403

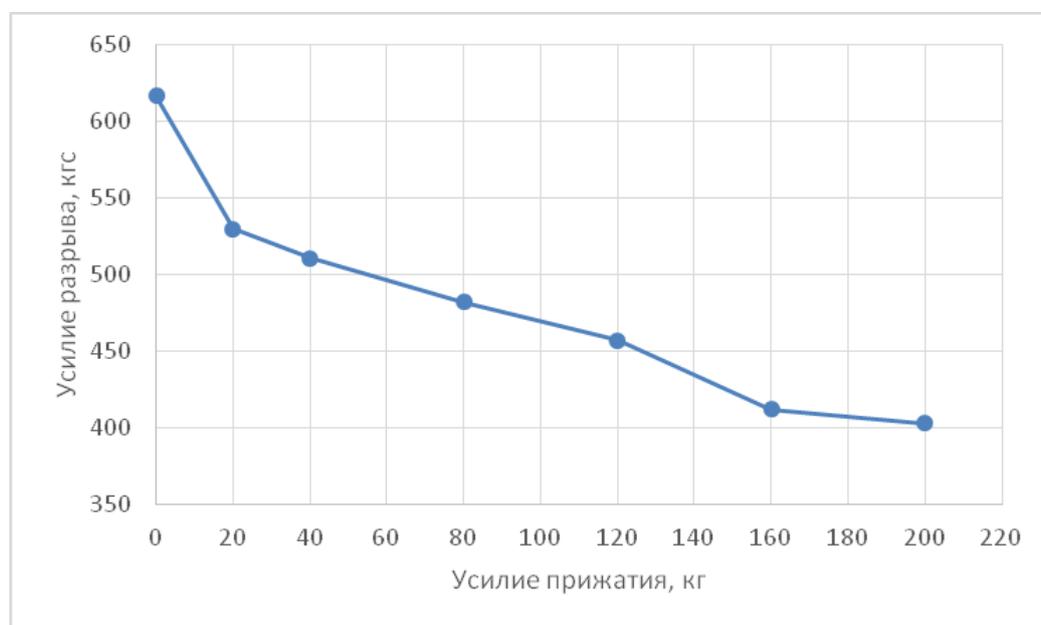


Рисунок 4.14 - Зависимость прочности от усилия сжатия образцов

Несмотря на то, что в процессе сварки были отмечены выплески расплавленного металла при усилии сжатия 0-20кг, а при усилии 30-50кг не наблюдалось, прочность сварного соединения оказалась выше при усилии 0-20 кг.

Также при увеличении усилии сжатия зона термического влияния уменьшалась, что теоретически могло свидетельствовать о лучшем тепловложении и улучшении качества сварного соединения, однако результаты испытания на прочность говорят об обратном.

По результатам прочностного испытания можно сделать вывод, что наиболее подходящее усилие сжатия электродов для данных пластин при прочих равных условиях ~ 0 кг (сварка под собственным весом рычага – усилие сжатия близкое к нулю). При дальнейшем увеличении усилии сжатия происходит снижение прочности сварного соединения.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что увеличение усилии прижатия выше необходимого уровня приводит к уменьшению прочности сварного соединения.

4.3 Анализ полученных данных

Если сопоставить данные зависимости диаметра сварной точки от усилии сжатия электрода с информацией, полученной авторами статьи, то можно увидеть определенную тенденцию (рис.4.15). Масштаб графика был уменьшен для наглядности при сопоставлении с графиком зарубежных авторов. На рисунке видно, что с увеличением усилии сжатия электродов, диаметр сварной точки уменьшается до определенного уровня, а дальше продолжает колебаться у определенного значения. Дальнейшее изменение значения вероятно получилось за счет возмущений в процессе сварки, а также погрешности при измерении. При этом наибольшему значению диаметра сварной точки в эксперименте соответствует наибольшее значение прочности сварного соединения.

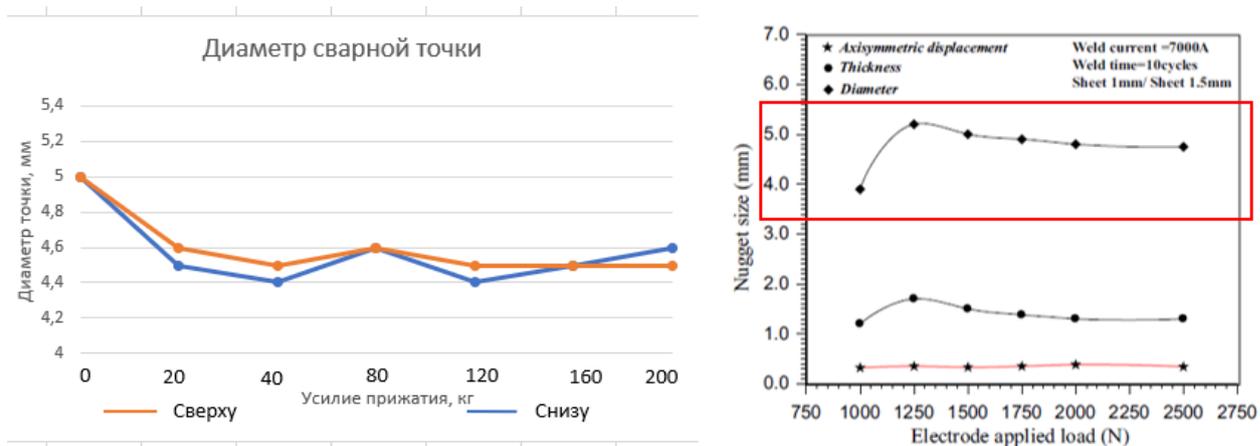


Рисунок 4.15 – Сопоставление графиков зависимости диаметра сварной точки

Для оценки показателей прочности сварных точек был проведен анализ статей по механическим испытаниям сварных соединений и найдены таблицы разрушающих усилий сварных точек на срез. В таблице 4.4 представлены значения для низкоуглеродистой стали, в таблице 4.5 по сталям разных марок [30], [31].

Таблица 4.4 – Прочность точки при испытании на срез

Толщина заготовок, мм	Разрушающее усилие, кгс
0,5+0,5	300-400
1+1	500-620
1,5+1,5	840-1000
2+2	1600-1800
3+3	2250-2400
5+5	5700-7000
6+6	6700-8000

Таблица 4.5 – Средние разрушающие усилия сварных точек на срез, кгс

Толщина стали, мм	Средний диаметр ядра, мм	X18H9T	OT4BT5	30XГСА отожженная	Л62 мягкая	08кп
0,3	3	140	158	150	65	118
0,5	3,5	240	275	275	145	200
0,8	4	485	545	540	280	405
1,0	4,5	700	770	730	395	580
1,5	6,5	1380	1585	1480	775	1167
2,0	7,7	1930	2300	2210	1170	1625
3,0	9,7	3050	3450	2950	1730	2550

Как видно из первой таблицы для стали толщиной 1 мм разрушающее усилие находится в диапазоне 500 – 620 кгс. В нашем случае наибольшее значение усилия у образца Т7 составило 617 кгс, что соизмеримо с известными значениями. Это значение близко к верхней границе диапазона.

Во второй таблице 4.5 видно, что для сталей толщиной 1 мм средний диаметр ядра составляет 4,5 мм. Это значение совпало со значением, полученным в ходе проведения эксперимента. Сталь 3 по своим характеристикам можно сопоставить со сталью 08кп. Как показано в таблице 4.5, значение разрушающего усилия для листа из стали 08кп толщиной 1 мм составляет 580 кгс. В нашем случае максимальное значение даже слегка превосходит этот показатель.

Таким образом, можно утверждать, что в результате проведенного эксперимента получили образец с прочностью, соответствующей теоретической и ранее установленной. Значит этот образец можно принять за эталон в нашем испытании. Тогда из полученных результатов становится очевидно, что при дальнейшем увеличении усилия прижатия, прочность сварного соединения постепенно снижается. В данном случае прочность снизилась на 34.15%. В ответственных конструкциях, таких как, например, кузов автомобиля это может быть критично.

В данной работе не зафиксировали момент перехода показателей прочности из роста в снижение. Вероятно, это произошло из-за использования длительности импульса пропускания сварочного тока через детали 2 с. Это больше, чем рекомендовано для мягкого режима сварки пластин данной толщины. Значения параметров жесткого и мягкого режимов представлены на рисунке 4.16.

Толщина деталей, мм	Ток $I_{св.д.}$, кА	Длительность тока $t_{св.}$, с	Усилие электродов $F_{св.}$, кгс
Жесткие режимы			
0,5	5,5—6	0,08—0,1	120—180
0,8	6,5—7	0,1—0,14	200—250
1	7,5—8	0,12—0,16	250—300
1,2	9—10	0,14—0,18	300—400
1,5	10,5—11,5	0,16—0,22	400—500
2	13—15	0,18—0,24	600—700
3	18—20	0,24—0,3	900—1000
3,5	20—22	0,3—0,4	1100—1200
4	23—20	0,4—0,56	1300—1500
Мягкие режимы			
0,6	3,5	0,2	80
0,8	4	0,3	120
1	5	0,4	150
1,2	5,5	0,5	200
1,5	6,5	0,6	220
1,8	7	0,7	300
2	7,5	0,8	350
2,5	9,5	1	400
3	12	1,3	500

Рисунок 4.16 – Параметры режимов сварки

Несмотря на это были получены образцы с высокими прочностными свойствами, соответствующими теоретическим значениям. Также практическими результатами подтверждена теория о снижении прочности сварного соединения при чрезмерном усилии сжатия электродов.

Исходя из этих результатов, можно предположить, что недостаток усилии сжатия сварочной установки можно компенсировать путем

увеличения времени импульса сварочного тока в разумных пределах. Этот эффект можно использовать в случае, когда на действующей сварочной машине невозможно приложить необходимое усилие для сварки. Это также может оказать положительный экономический эффект на предприятии. Однако остается поле для последующих исследований в данном направлении, чтобы можно было однозначно подтвердить либо опровергнуть данное явление.

Заключение

Целью данной магистерской диссертации было определение влияния усилия сжатия электродов на прочность сварного соединения. В ходе работы была изучена литература по контактной сварке. Изучены научные статьи отечественных и зарубежных авторов, касающиеся контактной сварки и в особенности связанные с исследованиями в области усилия сжатия и приводов сжатия. Также произведен поиск патентов в России и за рубежом на сварочное оборудование и способы сварки, которые могли бы прояснить вопрос об усилении сжатия.

Так как в существующих источниках не была найдена конкретная информация о влиянии усилия сжатия, в ходе выполнения магистерской диссертации был спланирован и проведен практический эксперимент. В ходе которого было подготовлено и сварено 7 образцов из стали с разными усилиями сжатия. Образцы были испытаны на прочность на разрывной машине.

В результате были получены данные, что наибольшей прочностью обладает образец, сваренный при наименьшем усилении сжатия. Дальнейшее увеличение усилия привело к снижению прочности образцов.

Таким образом, было практически доказано, что увеличение усилия сжатия выше необходимого уровня приводит к ухудшению прочностных характеристик сварного соединения. Результаты можно считать достоверными, поскольку наибольшая прочность сваренных образцов соответствует теоретическим значениям.

Таким образом, результаты данной магистерской диссертации могут использоваться на сварочных производствах для получения наиболее прочных соединений и снижения количества брака. Точная настройка параметров оборудования, в некоторых случаях, может позволить получать достаточно прочные по свойствам соединения без закупки более мощного оборудования. Это безусловно окажет положительный экономический

эффект, что немаловажно в нынешней непростой экономической ситуации. Также данное исследование позволит в некоторых случаях сократить количество сварных точек на изделие без потери итоговой прочности, что ускорит производительность труда, увеличит объем выпускаемой продукции, а также снизит энергозатраты. Для автомобильной промышленности это имеет особое значение, так как при сварке кузова производится несколько тысяч сварных точек.

Задачи, поставленные в начале обучения по программе магистратуры при планировании магистерской диссертации выполнены. Литература (книги, учебники, научные статьи, патенты) по контактной сварке и усилию прижатия при сварке изучены, спланирован и впоследствии проведен эксперимент, данные, полученные в ходе эксперимента проанализированы. Выводы представлены в магистерской диссертации.

Цель достигнута – влияние усилия прижатия при контактной сварке на прочность сварного соединения установлено.

Список используемой литературы и источников

1. Р. Ф. Катаев, В. С. Милютин, М. Г. Близник Теория и технология контактной сварки: учебное пособие. — Екатеринбург :Изд-во Урал. 2015. 144 с.
2. Контактная точечная сварка [Электронный ресурс] URL: <https://www.rudetrans.ru/o-svarke/kontaktnaya-svarka/> (Дата обращения 01.12.2018)
3. Контактная точечная сварка [Электронный ресурс] URL: <http://tool-land.ru/kontaktnaya-tochechnaya-svarka.php> (Дата обращения 01.12.2018)
4. Климов А.С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества. – Издательство Физматлит, 2011. – 216с.
5. Климов А. С., Герасимов А. А., Анциборов А. Н., Гончаров М. С. Обеспечение качества контактной точечной сварки за счет стабилизации вторичного тока при износе сварочных электродов. Сварочное производство: науч.-произв. журн. – 2007. - №5. – С.10-13
6. М. Д. Банов, В. В. Масаков, Н. П. Плюснина Специальные способы сварки и резки: учебное пособие – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 208с.
7. Клод Друар Контактная сварка. – Текна С.п.А., (Болонья) Италия, 1993. – 245с.
8. М.Д. Банов Технология и оборудование контактной сварки: учебник для студ. учреждений сред.проф. образования. 3-е изд., - М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 224с.
9. В. В. Овчинников Основы теории сварки и резки металлов. М.: «КноРус», 2013. – 192с.
10. М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин Сварка и резка материалов: учебное пособие – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400с.

11. Ланкин Ю. Н., Семикин В. Ф., Осечков П. П., Байштрук Е. Н. Привод сжатия электродов для машин контактной точечной микросварки. Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2012. - №2. – С.54-57
12. Моравский В. Э., Ворона Д. С. Технология и оборудование для точечной и рельефной конденсаторной сварки. — Киев: Наук. думка, 1985. — 272 с.
13. Технология и оборудование контактной сварки / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.
14. Руденко П. М., Гавриш В. С. Портативная система контроля и управления процессом контактной точечной сварки. Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2009. - №2. – С.36-41
15. Скачков И. О., Четверо Е. П. Оценка стабильности процесса сплавления при контактной стыковой сварке. Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2011. - №3. – С.38-41
16. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
17. S. Adolfsson, A. Bahrami, G. Bolmsjo, N. Claesson On-line quality monitoring in short-circuit metal arc welding. Welding Res. — 1999. — №2. — P. 59–72.
18. Четверо П. Н., Молтасов А. В., Самотрясов С. М. Расчет усилия осадки при контактной стыковой сварке изделий замкнутой формы. Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2014. - №1. – С.50-54
19. С. И. Кучук-Яценко, П. Н. Четверо, Л. А. Семенов Контактная стыковая сварка изделий из высокопрочных сплавов на основе алюминия. Автоматическая сварка: науч.-произв. журн. – 2013. — № 7. — С. 3–7.
20. С. И. Кучук-Яценко, В. А. Дидковский, М. В. Богорский Способ контактной стыковой сварки. Пат. 46820 Украина. — Оpubл. 17.06.2002.

21. Djelloul Azzouzi, Younès Benkhedda, Boussad Boumeddane Parametric study of the nugget growth in spot welding of 304L stainless steel sheets having equal and unequal thicknesses / Springer Nature Switzerland, 24.05.2019.

22. Zygmunt Mikno, Mariusz Stepień, Bogusław Grzesik Optimization of resistance welding by using electric servo actuator / Weld World, 21 February 2017.

23. Zygmunt Mikno Projection welding of nuts involving the use of electromechanical and pneumatic electrode force / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22 August 2018

24. Zygmunt Mikno Cross-wire projection welding of aluminium alloys—pneumatic and electromechanical electrode force systems / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 7 March 2019

25. Shannon G. Gaining control of resistance welding: [Электронный ресурс] URL: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/gaining-control-of-resistance-welding> (Дата обращения 10.02.2020)

26. Установка для контактно-точечной конденсаторной приварки выводов электрохимической защиты трубопровода [Электронный ресурс] <https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=619707f7277acb1c3a266e02da8c8519> (Дата обращения 10.05.2019)

27. Динамометр ДОСМ 3-1 [Электронный ресурс] <https://www.asma.com.ua> (Дата обращения 10.12.2019)

28. ГОСТ 6996-66 Сварные соединения. Методы определения механических свойств. М.: ИПК Издательство стандартов, 2006. 44 с.

29. ГОСТ Р ИСО 15614-12-2009 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Проверка процедуры сварки. Часть 12. Точечная, шовная и рельефная сварка М.: Стандартинформ, 2011. 7 с.

30. Контроль механических свойств соединений, выполненных точечной и шовной сваркой [Электронный ресурс] URL: <http://k-svarka.com/content/control-miekhanichieskikh-svoistv-soiedinienii-vypolnieniykh-tochiechnoi-i-shovnoi-svarkoi> (Дата обращения 03.03.2020)

31. Прочность одной точечной сварки при испытании на срез [Электронный ресурс] URL: <http://prosvarky.ru/weldingcontact/joint/17.html> (Дата обращения 03.03.2020)

32. И.Ю Амирджанова, Т.А. Варенцова, В.Г Виткалов, А.Г Егоров, В.В. Петрова Правила оформления выпускных квалификационных работ: учебно-методическое пособие – Тольятти.: ТГУ, 2019. - с.145

33. Ю.В. Казаков Магистерская диссертация: учебно-методическое пособие по выполнению выпускной квалификационной работы. – Тольятти, ТГУ, 2017. – 60 с.

34. Преддипломная практика – Тольятти: ТГУ, 2007. – 13 с.

35. Методические указания по оформлению ВКР – Тольятти: ТГУ, 2020. – 39 с.