

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕ-
РАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УДК 621.791.763

**ФУРМАНОВ
СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО УМЕНЬШЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЛИЦЕВЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.03.06
«Технологии и машины сварочного производства»

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

Могилев – 2005

Работа выполнена в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель

- доктор технических наук, профессор Валерий Петрович Березиенко, ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор Виктор Николаевич Ковалевский, Белорусский национальный технический университет, г. Минск
 - кандидат технических наук, доцент Григорий Федорович Ловшенко, ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев

Оппонирующая организация

- Государственное учреждение «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт сварки и защитных покрытий с опытным производством», г. Минск

Защита диссертации состоится « 28 » _____ декабря _____ 2005 г. в 12⁰⁰ на заседании совета на защите диссертаций К 02.18.01 в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212005, г. Могилев, пр-т Мира, 43.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан « 25 » _____ ноября _____ 2005 г.

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

В.И.Борисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Контактная точечная сварка, являясь одним из основных способов получения неразъемных соединений на предприятиях лифтостроения, автомобилестроения, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, обладает рядом преимуществ, обусловленных её относительно высокими показателями производительности, уровнем автоматизации и механизации, экономической эффективностью, экологической чистотой и гибкостью технологического процесса.

Наряду с этим, она характеризуется недостатком, связанным с наличием деформаций лицевых поверхностей изделий, которые являются неотъемлемым следствием силового воздействия токоподводящих электродов на свариваемые детали. Причиной образования глубоких вмятин на поверхностях деталей является интенсивное упругопластическое деформирование металла зоны соединения, вызванное неправильным выбором параметров режима сварки и конструктивных размеров изделия, малым диаметром контактной поверхности электрода, появлением выплесков расплавленного металла.

На многих предприятиях машиностроения в связи с ухудшением товарного вида изделий, изготовляемых точечной сваркой, возникают проблемы устранения деформаций лицевых поверхностей, связанные с необходимостью затрат времени на их шпатлевку, шлифовку, пайку, подварку и др.

При контактной точечной сварке в зоне сварного соединения протекают сложные взаимосвязанные процессы: интенсивный неравномерный нагрев и плавление свариваемого металла, снижение его предела текучести, тепловое расширение в стесненных условиях, охлаждение и кристаллизация, структурные превращения и неизотермическое упругопластическое деформирование, неравномерное распределение внутренних напряжений. Комплексное влияние всех этих факторов на процесс деформирования металла зоны соединения пока изучено недостаточно, не исследованы пути уменьшения деформаций лицевых поверхностей изделий. Для решения данной задачи не разработаны научно-обоснованные рекомендации и технологические процессы сварки.

Поэтому поиск путей уменьшения деформаций лицевых поверхностей изделий с целью снижения себестоимости их изготовления является актуальным. В настоящей работе эта задача решается за счет разработки новых процессов регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны точечного сварного соединения и создания средств для их реализации в производстве.

Связь работы с крупными научными программами. Научные исследования по теме диссертации проводились в рамках межвузовской (совместно с Белорусским национальным техническим университетом) научно-исследовательской программы “Исследование механизмов формирования, управление структурой и свойствами зоны соединения заготовок при точечной контактной сварке” (1998-2000г.г.), № ГБ 9904 Ф от 7.12.1998 г. и планом НИР Белорусско-Российского университета “Улучшение качества сварных соедине-

ний в транспортном машиностроении. Разработка способов получения сварных точечных соединений без вмятин от электродов на лицевых поверхностях изделий”, № ГБ 0144 от 23.12.2003 г.

Цель. Целью настоящей работы является поиск эффективных путей снижения деформаций лицевых поверхностей изделий на основе управления термомодеформационными процессами, протекающими при контактной точечной сварке, создание новых средств регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения и решение на этой основе прикладных задач по снижению себестоимости и улучшению товарного вида сварных конструкций.

Задачи исследований. 1. На базе существующих методов расчета напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения при контактной точечной сварке разработать пошагово-совмещенную математическую модель термомодеформационного процесса сварки, позволяющую раскрыть механизм образования деформаций лицевых поверхностей изделий, установить взаимосвязь между основными параметрами режима сварки и величиной деформаций и наметить пути их снижения.

2. Разработать способы регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения в процессе нагрева, проковки и охлаждения, позволяющие максимально уменьшать деформации лицевых поверхностей изделий при высоких показателях качества сварных соединений.

3. Разработать на базе исследований новые термомодеформационные циклы контактной точечной сварки, специальные электродные и другие устройства для осуществления технологического процесса с минимальными деформациями лицевых поверхностей изделий и внедрить их в производство.

Объект и предмет исследований. Объектом исследований являются сварные соединения, выполняемые контактной точечной сваркой на лицевых поверхностях изделий. Предметом исследований являются основные факторы, вызывающие появление деформаций лицевых поверхностей изделий, и способы регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения, позволяющие уменьшать эти деформации.

Гипотеза. В работе сформулировано следующее научное предположение: возможность уменьшения деформаций лицевых поверхностей изделий при точечной сварке созданием напряженно-деформированного состояния в металле зоны соединения, препятствующего его деформации в радиальном и осевом направлениях.

Методология и методы проведения исследований. Основные задачи в работе решались расчетными и экспериментальными методами.

Теоретические расчеты термоупругопластических деформаций и напряжений в сварных точечных соединениях из низкоуглеродистой стали различной толщины проводились на основании теории неизотермического упругопластического течения. Для расчета и анализа напряженно-деформированного состояния соединений разработаны с помощью пакета прикладных программ «CosmosM» на основе метода конечных элементов математические модели

термодеформационных процессов, протекающих при различных способах точечной сварки, которые позволяют повысить точность расчета за счет использования пошагово-совмещенного анализа температурных и деформационных полей.

Проверка основных теоретических результатов осуществлялась посредством экспериментальных исследований. Сварка образцов выполнялась на модернизированных машинах для контактной точечной сварки МТ-1617 и МТ-1818. Измерение глубины вмятин от электродов проводилось с использованием специального приспособления и многооборотного индикатора. Контроль действующего значения сварочного тока осуществлялся прибором ИТ-02 с датчиками тока типа воздушного трансформатора (пояса Роговского) (ГОСТ 8.326-78). С целью выявления размеров литого ядра и величины проплавления деталей выполнялись металлографические исследования. Испытания сварных образцов на статическую прочность осуществлялись совместным действием усилий на разрыв и срез, на циклическую прочность – методом изгиба с вращением. Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью статистических методов.

Научная новизна и значимость полученных результатов Впервые на основе математического моделирования термодеформационных процессов контактной точечной сварки, учитывающего особенности нагрева при прохождении сварочного тока, характер неизотермического упругопластического деформирования, зависимости теплофизических и механических свойств материалов от температуры, перемешивание расплавленного металла сварной точки, скрытую теплоту плавления и отличающегося использованием конечно-элементного пошагово-совмещенного анализа температурных и деформационных полей, определены закономерности упругопластического деформирования лицевых поверхностей изделий при точечной сварке. Предложены способы уменьшения деформаций лицевых поверхностей изделий при сохранении высоких прочностных показателей качества сварных соединений за счет регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения.

Установлено впервые, что при применении электрода с увеличенной площадью контакта стабилизировать деформации лицевых поверхностей изделий в пределах до 1,5 – 3 % от толщины детали и исключить образование выпучин можно, снизив износ указанного электрода за счет улучшения условий его охлаждения и применения тугоплавких высокоэлектропроводных и теплопроводных вставок в его центральной части.

Показано, что приложение усилия обжатия к периферийной зоне соединения препятствует раскрытию зазора в нахлестке и увеличивает сопротивление пластическому течению металла в зазор. При этом зоной с наименьшим сопротивлением пластической деформации является участок поверхности детали, расположенный между электродом и пуансоном, где происходит образование вокруг отпечатка кольцевого буртика.

Впервые установлено, что при сварке с обжатием периферийной зоны соединения на уменьшение деформаций лицевых поверхностей изделий влияют:

геометрические размеры пуансона, теплофизические и механические свойства материала пуансона, давление в зоне контакта пуансон-деталь; применение охлаждения периферийной зоны соединения; снятие усилия с подвижного токоподводящего электрода в момент выключения тока; осуществление проковки периферийной зоны только кольцевым пуансоном.

Применение обжатия периферийной зоны позволило снизить глубину вмятин со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью на 40 – 50% (глубина вмятины составляет 0,5 – 2 % от толщины детали), со стороны подвижного электрода с нормальной рабочей поверхностью – на 28 – 30% в связи с увеличением сопротивления пластическому течению металла в зазор между деталями. При использовании бронзового охлаждаемого пуансона вместо стального снижение глубины вмятин происходит соответственно на 44 – 54% и 33 – 35%, при дополнительном охлаждении периферийной зоны соединения – на 52 – 62% и 55 – 58% за счет увеличения сопротивления деформации в зоне образования кольцевого буртика и создания напряженно-деформированного состояния, приближающегося к всестороннему сжатию.

Установлено теоретически и подтверждено результатами прочностных испытаний, что приложение усилия проковки к периферийной зоне соединения при отсутствии усилия на подвижном токоподводящем электроде позволяет улучшить условия охлаждения электродов, достичь снижения осевых, радиальных и тангенциальных напряжений в зоне пластического пояска, значительного уменьшения зазора между деталями после сварки и эксцентриситета при нагружении, что замедляет скорость зарождения и распространения усталостной трещины и повышает циклическую прочность точечных соединений на 10 - 25 %, а статическую прочность – на 4 - 12 %.

Практическая значимость полученных результатов. Предложен новый способ контактной точечной сварки для уменьшения вмятин на лицевых поверхностях изделий, предусматривающий использование кольцевого пуансона для обжатия околоточечной зоны и проковки сварного соединения без силового воздействия со стороны токоподводящего электрода (патент на изобретение ВУ 6959 С1 от 30.03.2005), получены математические зависимости для расчета параметров силового воздействия на детали и времени проковки периферийной зоны, предложены рациональные режимы сварки деталей различных толщин из низкоуглеродистой стали с обжатием периферийной зоны соединения. Для проведения экспериментов в лабораторных и заводских условиях модернизированы машины для контактной точечной сварки МТ-1617 и МТ-1818. Разработаны конструкции электродного узла для контактной точечной сварки с обжатием периферийной зоны охлаждаемым пуансоном (патент на изобретение ВУ 6958 С1 от 30.03.2005, патент на полезную модель № 769 от 30.03.2003), и электродные устройства с улучшенными условиями охлаждения токоподводящих электродов (патент на изобретение ВУ 6269 С1 от 30.06.2004, патенты на полезную модель № 831 от 30.03.2003, № 1113 от 30.12.2003).

Результаты работы внедрены в учебный процесс на кафедре “Оборудование и технология сварочного производства”, прошли производственные испы-

тания на РУП “Могилевский автомобильный завод”, испытаны и внедрены в производство при изготовлении узлов пассажирских лифтов на РУП завод “Могилевлифтмаш”.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Новый подход к исследованию взаимосвязи между параметрами режима контактной точечной сварки и кинетикой деформирования лицевых поверхностей соединений, отличающийся использованием конечно-элементного пошагово-совмещенного анализа температурных и деформационных полей и позволяющий разработать новые способы регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения.

2. Приложение усилия обжатия к периферийной зоне соединения и применение тока подогрева способствуют снижению усилия сжатия электродов, созданию напряженно-деформированного состояния металла, препятствующего его деформации в осевом и радиальном направлениях, и снижению глубины вмятин от электродов до 0,5 – 2 % от толщины свариваемых материалов.

3. Проковка периферийной зоны соединения без силового воздействия со стороны токоподводящего электрода после выключения сварочного тока способствует улучшению условий охлаждения электродов, снижению осевых, радиальных и тангенциальных остаточных напряжений в зоне пластического пояска, значительному уменьшению зазора между деталями и повышению статической и циклической прочности соединений.

Личный вклад соискателя. Опубликованные по теме диссертации работы выполнены автором лично и в соавторстве. Научному руководителю принадлежит основная идея работы. Основными соавторами по опубликованным работам являются профессор Березиенко В.П., доцент Попковский В.А. В разработке и оформлении патентов принимали участие доцент Цумарев Ю.А., Тарасенко И.В., Латыпова Е.Ю. В опубликованных работах автор осуществлял постановку задач, предлагал направления решения научных проблем, участвовал в теоретических и экспериментальных исследованиях, формулировке общих подходов к проблеме уменьшения деформаций лицевых поверхностей изделий и выводов по результатам работы.

Таким образом, автором лично предложены: новый подход к исследованию взаимосвязи между параметрами режима контактной точечной сварки и кинетикой деформирования лицевых поверхностей изделий, новый способ точечной сварки с обжатием периферийной зоны соединения и конструкции электродных устройств для его осуществления.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на Международных научно-технических конференциях: “Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка”, Могилёв, 2000 г.; “Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов”, Могилев, 2001 г.; “Современные технологии, материалы, машины и оборудование”, Могилёв, 2002 г., “Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование”, Могилёв, 2003 г.; “Материалы, оборудование и ре-

сурсосберегающие технологии”, Могилёв, 2004 г.; “Контактная сварка и родственные процессы. Технологии и оборудование”, г. Санкт-Петербург, 2004 г.; “Контактная сварка и другие виды сварки давлением. Технологии и оборудование”, г. Санкт-Петербург, 2005 г.; “Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии”, Могилёв, 2005 г.

Опубликованность результатов. Результаты диссертационной работы полностью опубликованы в 8 статьях и 9 тезисах докладов на международных научно-технических конференциях. По результатам работы получены 4 патента Республики Беларусь на изобретение и 3 патента на полезные модели. Общее количество страниц опубликованных материалов - 39.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 170 стр. Она содержит 123 стр. основного текста, 89 рисунков и 125 библиографических ссылок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, практическая значимость полученных результатов, даны общая характеристика работы и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору и анализу литературных данных по теме диссертации. Проведен обзор существующих способов и электродных устройств, способствующих снижению деформаций лицевых поверхностей изделий, и анализ методов расчета напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения при точечной сварке. Показано, что вмятины от электродов являются неизбежными деформациями, вызванными механическим воздействием токоподводящих электродов на детали в условиях неравномерного нагрева, теплового расширения металла, вытеснения его в зазор и возникновение неравномерного распределения внутренних напряжений.

В работах Орлова Б.Д., Чакалева А.А., Козловского С.Н., Тарасова Н.М., Терещенко В.И., Березиенко В.П., Попковского В.А. и др. отмечено, что для снижения деформаций существуют реальные технологические приемы: применение электрода с увеличенной рабочей поверхностью, односторонняя сварка, введение между электродом и деталью пластинки из медных сплавов. Применение “бесследной” сварки сопровождается износом нижнего электрода, возникновением односторонних вмятин, появлением выплесков и больших зазоров между свариваемыми листами. При этом полностью исключить следы от сварки не удастся, так как со стороны плоского электрода остается небольшое углубление.

Для уменьшения глубины вмятин от электродов перспективно применение технологии точечной сварки с обжатию периферийной зоны соединения. Проведенные исследования не раскрыли полностью технологические возмож-

ности этого способа. Он нуждается в дальнейшем изучении с целью повышения стойкости электродов и создания надежных и компактных электродных устройств для кольцевого обжата периферийной зоны.

Многие вопросы расчета напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения при контактной точечной сварке решены в России в Московском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана (Куркин А.С.), в МГУПС (Киселев С.Н.), в Тульском государственном университете (Судник В.А., Ерофеев В.А.), в Германии в Техническом университете г. Ахен (У. Дилтей), в США (Nied. H.A., Sun X., Dong P., Li. M, Kimchi M.), в Японии в Институте материалов (Murakawa H., Kimura F.). Однако углубленного исследования процесса деформирования лицевых поверхностей изделий при точечной сварке в научных работах, выполненных в перечисленных организациях, не проводилось.

Во второй главе дается описание методики математического моделирования процесса упругопластического деформирования металла зоны соединения при контактной точечной сварке, оценки точности и адекватности математической модели, экспериментальной установки для сварки с обжатием периферийной зоны соединения, приспособления для измерения глубины вмятины, оборудования и образцов для проведения статических и циклических испытаний на прочность.

Разработана методика моделирования термодформационного цикла точечной сварки, учитывающая особенности нагрева при прохождении сварочного тока, характер неизотермического упругопластического деформирования, зависимости теплофизических и механических свойств материалов от температуры, перемешивание расплавленного металла сварной точки, скрытую теплоту плавления и отличающаяся использованием конечно-элементного пошагово-совмещенного анализа температурных и деформационных полей. На рис. 1 показано разбиение осесимметричной модели точечной сварки на конечные изопараметрические четырёхузловые элементы.

При решении нестационарной задачи теплопроводности для учета интенсивного перемешивания расплавленного металла литого ядра принимали увеличение коэффициента теплопроводности в диапазоне температур, соответствующих расплавленному металлу. Увеличением коэффициента теплоемкости металла учитывали скрытую теплоту плавления.

Тепловой расчет показал, что максимальная температура поверхности детали в центре контакта электрод-деталь в момент выключения сварочного тока составляет около 600-700 °С. При таких температурах заметно снижается предел текучести материалов деталей и электродов, что ведет к образованию глубоких вмятин и повышенному износу электродов.

При моделировании процессов плавления и кристаллизации использовался вычислительный подход, при котором конечные элементы, соответствующие расплавленному литому ядру, сохраняли свои механические свойства, соответствующие температуре, близкой температуре плавления, а процесс их деформирования оставался непрерывным.

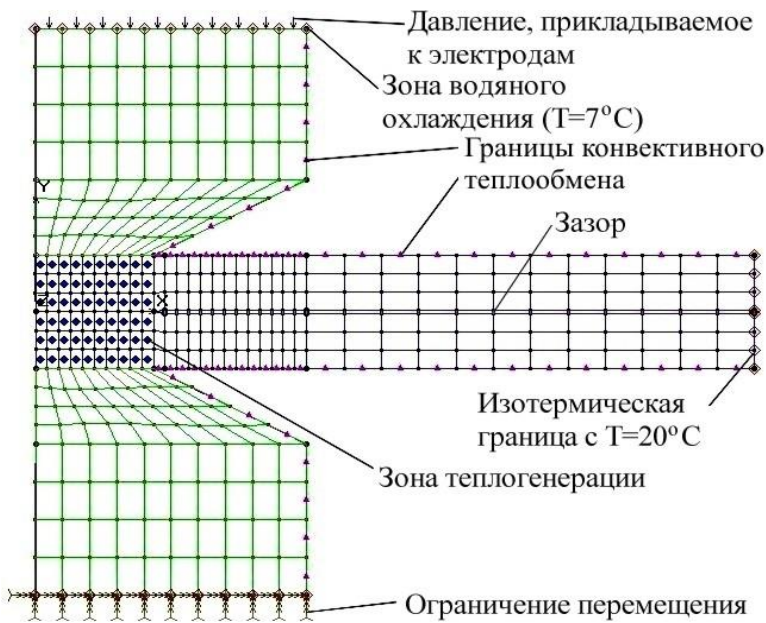


Рис.1. Конечно-элементная модель точечной сварки

Для проведения экспериментальных исследований использовались модернизированные машины для контактной точечной сварки МТ-1617 и МТ-1818, позволяющие осуществлять независимое обжатие периферийной зоны соединения. Глубина вмятин от электродов замерялась с помощью приспособления, включающего многооборотный индикатор и устройство для перемещения сварного соединения. Для проведения статических прочностных испытаний использовалась разрывная машина УММ-10. В качестве основного образца для проведения статических и циклических испытаний был принят односрезовый односточечный образец. Испытания на циклическую прочность проводились при совместном действии усилий отрыва и среза на машине для испытания на изгиб вращающихся образцов типа УКИ-10М.

В качестве выходных параметров математической модели для оценки точности выбраны размеры литой зоны $d_{\text{л}}$ и глубины вмятины $g_{\text{вм}}$ (рис. 2). Апробацию математической модели производили для случая сварки листов из низкоуглеродистой стали Ст.3 толщиной от 0,8 до 4,0 мм. Оценку адекватности и значимости математической модели проводили с использованием метода регрессионного анализа. На рис. 3 приведена оценка адекватности модели при сварке деталей толщиной 1,0+1,0 мм в следующем режиме: $I_{\text{СВ}}=10,8$ кА, $\tau_{\text{СВ}}=0,16$ с, $F_{\text{СВ}}=3,9$ кН). Пунктиром обозначена условная граница литого ядра.

Экспериментальные данные о росте размеров литого ядра получали по макрошлифам образцов. Общая ошибка, вносимая неточностью исходных данных при задании режима, по проплавлению составляет 6 – 8 % (0,1 мм), а по диаметру литой зоны - примерно 7 – 9 % (0,4 мм), причем значительная доля этой ошибки обусловлена неточностью измерения параметров режима сварки. Большое рассеяние значений глубины вмятин в эксперименте объясняется тем, что даже при стабилизации параметров режима сварки не удается учесть все факторы, влияющие на процесс сварки: наличие оксидной пленки, состояние контактной поверхности электродов, наличие начальных зазоров между деталями и т.д. Стандартное отклонение глубины вмятин от её среднего значения составляло 10 – 12 %. Расхождение расчетных и экспериментальных данных составило 8 – 10%.

Для проведения экспериментальных исследований использовались модернизированные машины для контактной точечной сварки МТ-1617 и МТ-1818, позволяющие осуществлять независимое обжатие периферийной зоны соединения. Глубина вмятин от электродов замерялась с помощью приспособления, включающего многооборотный индикатор и устройство для перемещения сварного соединения. Для проведения статических

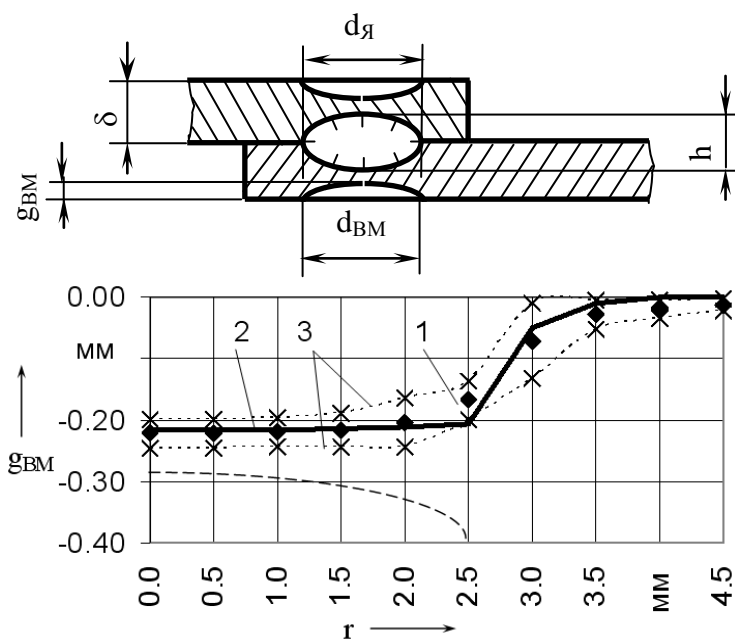


Рис.2 - Основные параметры точечного соединения: $d_{\text{я}}$ – диаметр литого ядра; $d_{\text{вм}}$ – диаметр вмятины; h – высота ядра; $g_{\text{вм}}$ – глубина вмятины; δ – толщина металла

Третья глава посвящена исследованию процессов регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения при различных способах точечной сварки, обеспечивающих уменьшение деформаций лицевых поверхностей изделий.

Процесс образования вмятин рассмотрен на примере двухсторонней точечной сварки деталей толщиной 1+1 мм со следующими параметрами

режима: $I_{\text{СВ}}=10,8$ кА; $\tau_{\text{СВ}}=0,16$ с; $F_{\text{СВ}}=3,9$ кН. Его можно условно разделить на три этапа.

Первый этап начинается с момента приложения предварительного усилия сжатия к электродам и служит для устранения сборочных зазоров между деталями и предупреждения наружных и внутренних выплесков. При этом происходит пластическая деформация микронеровностей и шероховатостей в контактах электрод-деталь и деталь-деталь и общая упругая деформация электродов и деталей.

Последующее включение тока и нагрев металла способствуют окончательному сглаживанию микрорельефов и образованию физического контакта. Вследствие теплового расширения металла межэлектродной зоны наблюдается перемещение подвижного электрода вверх на расстояние, равное 3 – 4% от толщины детали. Локальное расширение металла зоны соединения способствует увеличению зазора между свариваемыми деталями. При нагреве металла межэлектродной зоны растет его пластичность. Этап заканчивается в момент достижения условия текучести, когда интенсивность напряжений в зоне соединения становится равной пределу текучести металла наиболее нагретых зон ($\sigma_T = \sigma_i$). На данном этапе глубина вмятины достигает лишь 0,2 – 0,3 % от толщины детали.

Второй этап характеризуется дальнейшим повышением температуры и снижением предела текучести σ_T свариваемого металла в контакте электрод-деталь, расплавлением металла и образованием ядра. При нагреве поверхностных слоев металла до температуры 500 – 600 °С σ_T становится меньше величи-

ны интенсивности напряжений σ_i ($\sigma_T < \sigma_i$), возникающих под действием давления в зоне контакта электрод-деталь. Интенсивное тепловое расширение металла межэлектродной зоны компенсируется протекающим параллельно процессом пластической деформации, который начинает преобладать над тепловым расширением. Разогретый металл под воздействием усилия сжатия электродов вытесняется в зазор между деталями, образуя пластический пояс вокруг сварной точки. Анализ кинетики деформирования показывает, что именно на этом этапе глубина вмятины растет наиболее интенсивно. В момент выключения сварочного тока она может достигать величины, равной 5 – 10 % от толщины детали.

Третий этап начинается с момента выключения сварочного тока. При проковке происходит охлаждение и уменьшение объема металла. Пластическая деформация нагретого металла и внедрение электрода в деталь продолжается до момента превышения пределом текучести величины σ_i ($\sigma_T > \sigma_i$). К концу этапа глубина вмятины может достигать 15 - 20 % от толщины детали.

Результаты расчетов показали, что основное влияние на характер образования вмятин оказывают величина сварочного тока и время его протекания, определяющие степень разогрева металла. С увеличением жесткости режима сварки заметно уменьшается глубина внедрения электродов в детали (рис. 4), однако увеличивается вероятность появления выплесков расплавленного металла. Глубина вмятины растет при увеличении усилия сжатия электродов.

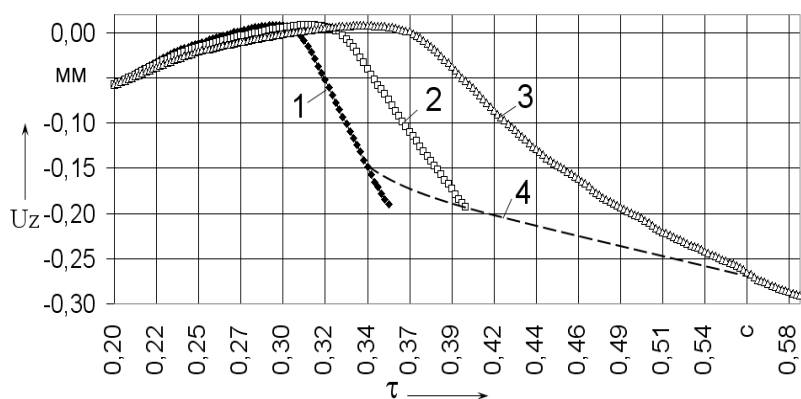


Рис. 4 – Перемещение подвижного электрода в зависимости от жесткости режима сварки: 1 – $I_{CB}=10,5$ кА; $\tau_{CB}=0,16$ с; 2 – $I_{CB}=9,5$ кА; $\tau_{CB}=0,2$ с; 3 – $I_{CB}=7,5$ кА; $\tau_{CB}=0,4$ с; 4 – граница $d_{ЯМИН} = 4$ мм

Применение электрода с увеличенной рабочей поверхностью, позволяющего уменьшить вмятину с одной стороны изделия до 4 – 5 % от толщины детали, не исключает появления внутренних выплесков, зазоров и глубоких вмятин до 35 – 40 % с другой стороны изделия. При сварке со временем происходит износ центральной части электрода и изменение условий теплоот-

вода в него, что способствует образованию выпучин на лицевых поверхностях изделий. Установлено, что стабилизировать деформации лицевых поверхностей в пределах до 1,5 - 3 % от толщины детали и исключить образование выпучин можно, снизив износ указанного электрода за счет улучшения условий его охлаждения и применения тугоплавких высокоэлектропроводных и теплопроводных вставок в его центральной части.

При приложении усилия обжатия к периферийной зоне изменяется характер пластического течения металла на втором этапе образования вмятины. Усилие, прикладываемое к кольцевому пуансону, препятствует раскрытию зазора в

нахлестке. Поэтому значительно возрастает сопротивление пластическому течению металла в зазор. При этом зоной с наименьшим сопротивлением пластической деформации оказывается участок металла между электродом и пуансоном, где образуется буртик (рис. 5). Снятие сварочного усилия на третьем этапе и приложение усилия проковки к пуансону прекращает пластическое течение разогретого металла из зоны сварной точки к периферии соединения. Дальнейшее увеличение глубины вмятины будет происходить только за счет остывания и усадки металла.

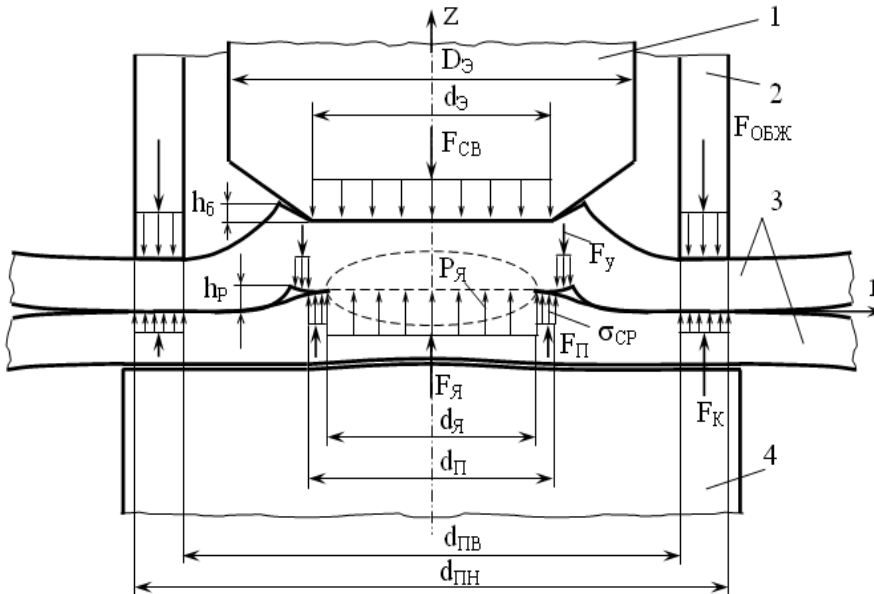


Рис.5 - Схема равновесия сил системы электроды – детали – пуансон: 1 – подвижный электрод; 2 – силовой пуансон; 3 – свариваемые детали; 4 – электрод с увеличенной рабочей поверхностью; $h_{б}$ – высота буртика; $h_{р}$ – высота рельефа

Кинетика деформирования соединения при сварке с обжатием периферийной зоны соединения со стороны верхнего подвижного электрода и со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью показана на рис.6.

При точечной сварке с обжатием периферийной зоны соединения на глубину вмятины влияют геометрические размеры пуансона, величина

усилия обжатия в зоне контакта пуансон-деталь, теплофизические и механические свойства материала пуансона и условия его охлаждения. При этом снижению деформаций на 40 – 50% со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью (глубина вмятины составляет 0,5 – 2 % от толщины детали) и на 28 – 30% со стороны подвижного электрода с нормальной рабочей поверхностью способствуют:

- увеличение жесткости режимов сварки в связи с уменьшением вероятности образования внутренних выплесков расплавленного металла;
- уменьшение усилия сжатия электродов $F_{СВ}$ в связи с передачей части обжимающего усилия $F_{У}$ в зону пластического пояса за счет упруго-пластического деформирования металла в зоне между пуансоном и электродом;
- осуществление проковки периферийной зоны соединения только кольцевым пуансоном при снятии усилия проковки с подвижного токоподводящего электрода в момент выключения сварочного тока;
- применение материала пуансона, способствующего улучшению условий охлаждения периферийной зоны соединения.

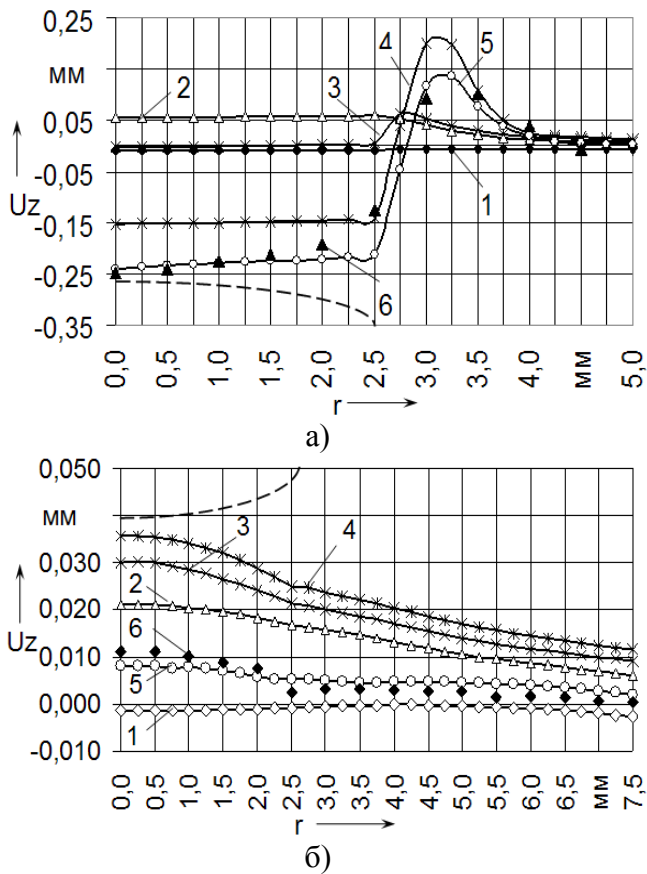


Рис.6 - Кинетика деформирования металла зоны соединения: а) - со стороны верхнего подвижного электрода; б) - со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью; 1–после предварительного сжатия $\tau_{СЖ}=0,2$ с; 2, 3, 4–во время протекания сварочного тока $\tau_{СВ}=0,08; 0,12; 0,16$ с; 5–после проковки $\tau_{КОВ}=0,4$ с; 6–экспериментальные данные

противление деформации в зоне образования буртика за счет увеличения предела текучести свариваемого металла при снижении температуры. При этом напряженно - деформированное состояние в зоне формирования соединения приближается к всестороннему сжатию. Увеличивается цилиндрическая жесткость детали и максимальное усилие, передаваемое от пуансона в зону пластического пояса для предотвращения выплеска, что позволяет снизить величину усилия сжатия электродов.

Анализ результатов моделирования показывает, что при применении бронзового охлаждаемого пуансона вместо стального снижение глубины вмятин со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью происходит на 44 – 54%, со стороны подвижного электрода на 33 – 35%, при дополнительном охлаждении периферийной зоны соединения – соответственно на 52 – 62% и 55 – 58%.

Расчет усилий сжатия электродов $F_{СВ}$ и обжатия кольцевым пуансоном $F_{ОБЖ}$ производился с помощью уравнения равновесия замкнутой силовой системы (см. рис. 5):

Приложение усилия проковки при помощи кольцевого пуансона к периферийной зоне способствует улучшению условий охлаждения электродов, снижению осевых, радиальных и тангенциальных напряжений в зоне пластического пояса, уменьшению зазора между деталями после сварки и эксцентриситета при нагружении, что позволяет замедлить скорость зарождения и распространения усталостной трещины и повысить циклическую прочность точечных соединений на 10 - 25 %, а статическую прочность – на 4 - 12 %.

При сварке с обжатием периферийной зоны из-за невозможности приблизить пуансон к области пластического пояса для снижения вмятины наиболее оптимальным является увеличение до определенных значений усилия, действующего в контакте пуансон-деталь или изменение условий охлаждения периферийной зоны.

Применение дополнительного охлаждения поверхности деталей в периферийной зоне увеличивает со-

$$F_{Я} + F_{П} + F_{К} + F_{Д} - (F_{СВ} + F_{ОБЖ}) = P_{Я} \frac{\pi d_{Я}^2}{4} + \sigma_{СР} \pi \frac{d_{П}^2 - d_{Я}^2}{4} + F_{К} + F_{Д} - (F_{СВ} + F_{ОБЖ}) = 0, \quad (1)$$

где $d_{Я}$ – диаметр литого ядра;

$d_{П}$ – диаметр пластического пояса;

$P_{Я}$ – гидростатическое давление расплавленного металла ядра;

$F_{Я}$ – усилие, обусловленное давлением расплавленного металла ядра;

$F_{П}$ – усилие, действующее в зоне пластического пояса;

$\sigma_{СР}$ – среднее значение напряжений в площади пластического пояса;

$F_{К}$ – усилие, распределенное по площади кольцевого контакта деталь–деталь в зоне действия силового пуансона;

$F_{Д}$ – усилие, необходимое для деформации деталей при их сближении до соприкосновения, противодействующее сварочному усилию.

Если деформирование участка верхней детали между электродом и пуансоном приближенно рассматривать как деформацию круглой пластины, жестко заземленной в области действия пуансона с отверстием в области литого ядра, то величину усилия обжатия можно найти из условия равновесия кольцевого элемента вне зоны ядра, которое определяется выражением:

$$\begin{aligned} F_{ОБЖ} &= F_{К} + F_{П} + F_{y} = (0,05...0,1)F_{Я} + (1,5...2,1)F_{П} = \\ &= (0,05...0,1)P_{Я} \frac{\pi d_{Я}^2}{4} + (1,5...2,1)\sigma_{СР} \pi \frac{d_{П}^2 - d_{Я}^2}{4}, \end{aligned} \quad (2)$$

где F_{y} – часть усилия $F_{ОБЖ}$, которое передается в область пластического пояса за счет упругопластического деформирования металла в зоне между пуансоном и электродом.

Четвертая глава посвящена разработке технологического процесса точечной сварки с обжатием периферийной зоны соединения, обеспечивающего уменьшение деформаций лицевых поверхностей изделий, и электродных устройств для его реализации.

Предложена циклограмма сварки с применением дополнительного импульса тока подогрева, позволяющего в совокупности с обжатием периферийной зоны соединения снизить усилие сжатия электродов на 15 – 20 % за счет повышения пластичности свариваемых металлов и уменьшить площадь растекания сварочного тока при значительном увеличении площади контакта деталь–деталь за счет обжатия периферийной зоны (рис. 7, а). В случае, если технологические возможности машины не позволяют осуществить предложенную циклограмму, рекомендована более простая циклограмма процесса (рис.7, б), при использовании которой возможно снижение усилия $F_{СВ}$ на 10 – 15 %, но при этом требуется увеличение $I_{СВ}$ на 20 – 25 %.

Разработаны конструкции:

- электродного устройства с распределением сварочного и обжимающего усилий через упругий элемент;

- пневматического привода сжатия, состоящего из двух пневмокамер и независимой системы подачи воздуха в них;
- установки для точечной сварки с автономным обжатием периферийной зоны, осуществляющей обжатие за счет пневмоцилиндра, располагаемого вне корпуса машины;
- электродного узла с охлаждаемым силовым пуансоном;
- электродных устройств с улучшенными условиями охлаждения токоподводящих электродов.

При приложении усилия проковки $F_{\text{КОВ}}$ к периферийной зоне и снятии усилия с электродов остывание точки замедляется. На основе анализа остаточных напряжений и кинетики образования вмятин нами рекомендуется прикладывать $F_{\text{КОВ}}$ до момента достижения в зоне пластического пояска сварной точки средней температуры $200 - 300 \text{ }^\circ\text{C}$. Длительность проковки периферийной зоны $\tau_{\text{КОВ}}$ определяется следующим выражением:

$$\tau_{\text{КОВ}} = \frac{0,192 + 0,158\delta}{1 - 0,212\delta + 0,0178\delta^2}, \text{ с,} \quad (3)$$

где δ - толщина свариваемых деталей, мм.

Проведены производственные испытания разработанного способа и электродных устройств на РУП «Могилевский автомобильный завод». Результаты исследований испытаны и внедрены в производство при изготовлении узлов пассажирских лифтов на РУП завод «Могилевлифтмаш».

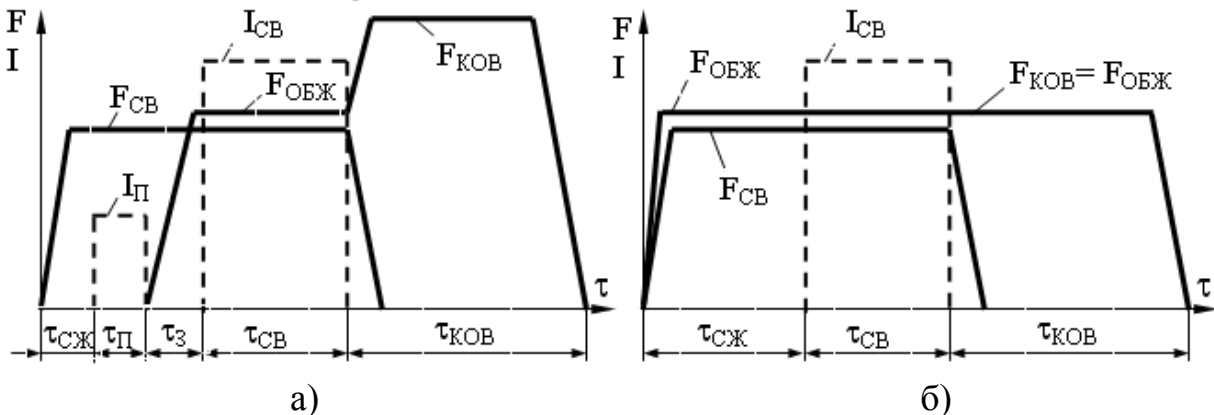


Рис. 7 – Циклограммы процесса точечной сварки с независимым обжатием периферийной зоны соединения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На многих промышленных предприятиях при контактной точечной сварке в связи с появлением вмятин на лицевых поверхностях изделий и ухудшением их товарного вида возникают проблемы, связанные с необходимостью значительных затрат времени на шпатлевку поверхностей, покрытие их пластмассой, пайку оловянно-свинцовыми припоями, подварку газовой сваркой и др. Показано, что значительному уменьшению степени пластической деформации лицевых поверхностей изделий способствует создание такого напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения, которое препятствует деформации в радиальном и осевом направлениях и увеличивает сопротивление пластическому течению металла из зоны сварного соединения к периферии сварной точки /3, 4, 11/.

2. Впервые на основе математического моделирования термомодеформационных процессов контактной точечной сварки, отличающегося использованием конечно-элементного пошагово-совмещенного анализа температурных и деформационных полей, определены закономерности упругопластического деформирования лицевых поверхностей изделий при двухсторонней точечной сварке и сварке с применением электрода с увеличенной площадью контакта. Установлено, что при применении электрода с увеличенной площадью контакта стабилизировать деформации лицевых поверхностей изделий в пределах 1,5 - 3 % от толщины детали и исключить образование выпучин можно, снизив износ указанного электрода за счет улучшения условий его охлаждения и применения тугоплавких высокоэлектропроводных и теплопроводных вставок в его центральной части /9, 10/.

3. Предложен новый способ контактной точечной сварки для уменьшения деформаций лицевых поверхностях изделий, предусматривающий использование кольцевого пуансона для обжатия периферийной зоны соединения и проковки без силового воздействия со стороны токоподводящего электрода (патент ВУ 6959 С1). Показано, что приложение усилия обжатия к периферийной зоне препятствует раскрытию зазора в нахлестке и увеличивает сопротивление пластическому течению металла в зазор. При этом зоной с наименьшим сопротивлением пластической деформации является участок поверхности детали, расположенный между электродом и пуансоном, где происходит образование вокруг отпечатка кольцевого буртика /12, 15, 17/.

4. Впервые показано, что при контактной точечной сварке с обжатием периферийной зоны соединения уменьшению деформаций лицевых поверхностей изделий до 0,5 – 2 % от толщины свариваемых материалов способствуют: снижение на 15 - 20% сварочного усилия за счет применения импульса подогрева и передачи части обжимающего усилия в область пластического пояса из-за наличия упругопластического деформирования металла в зоне между электродом и пуансоном; снятие усилия с токоподводящих электродов в момент включения сварочного тока и осуществление проковки кольцевым пуансоном; снижение вероятности появления внутренних выплесков расплавленного ме-

талла и возможность применения более жестких режимов, чем при сварке без обжата; применение рациональных геометрических размеров пуансона, обеспечивающих минимально возможный зазор между токоподводящим электродом и пуансоном; применение материала пуансона, способствующего улучшению условий охлаждения периферийной зоны соединения; приложение усилия проковки к пуансону до момента достижения в зоне пластического пояса температуры 200 - 300°C. При применении бронзового охлаждаемого пуансона вместо стального снижение глубины вмятин со стороны электрода с увеличенной рабочей поверхностью происходит на 44 – 54%, со стороны подвижного электрода на 33 – 35%, при дополнительном охлаждении периферийной зоны соединения – соответственно на 52 – 62% и 55 – 58% /5-8, 14, 23/.

5. Установлено, что при сварке с приложением усилия проковки к периферийной зоне соединения без силового воздействия со стороны токоподводящего электрода после выключения сварочного тока можно достичь улучшения условий охлаждения электродов, снижения осевых, радиальных и тангенциальных напряжений в зоне пластического пояса, значительного уменьшения зазора между деталями после сварки и эксцентриситета при нагружении, что позволяет замедлить скорость зарождения и распространения усталостной трещины и повысить циклическую прочность точечных соединений на 10 - 25 %, а статическую прочность – на 4 - 12 % /1, 2, 22/.

6. На базе предложенного нового способа разработан технологический процесс контактной точечной сварки на лицевых поверхностях изделий, позволяющий практически устранить деформации и снизить себестоимость изготовления изделий за счет исключения операций шлифовки и зачистки лицевых поверхностей после сварки. Получены математические зависимости для определения величины усилия обжата кольцевым пуансоном и длительности проковки периферийной зоны. Разработаны конструкции электродных устройств для контактной точечной сварки с охлаждаемым силовым пуансоном (патент ВУ 6958 С1, патент на полезную модель № 769) и электроды с улучшенными условиями охлаждения (патент ВУ 6269 С1, патенты на полезную модель № 831, № 1113). Результаты работы прошли производственные испытания на РУП “Могилевский автомобильный завод”, испытаны и внедрены в производство при изготовлении узлов пассажирских лифтов на РУП завод “Могилевлифтмаш” /13, 16, 18-21, 24/.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Березиенко В.П., Попковский В.А., Фурманов С.М. Повышение несущей способности точечных соединений низкоуглеродистых сталей // Сварочное производство. – 1999. – №12. – С. 20 – 22.
2. Berezienko V.P., Popkovskii V.A., Furmanov S.M. Increasing the load-carrying capacity of spot welded joints in low-carbon steels // Welding International. – 2000. – 14 (6). – С. 488 – 490.

3. Фурманов С.М. Об упругопластическом деформировании металла при контактной точечной сварке с обжатием периферийной зоны соединения // Сварка и родственные технологии / Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск, 2001. – № 4. – С. 33-37.

4. Березиенко В.П., Фурманов С.М. О снижении глубины вмятины от электродов на лицевых поверхностях изделий при контактной точечной сварке // Вестник МГТУ. – 2002. – № 1. – С.16-21.

5. Березиенко В.П., Фурманов С.М. Пути снижения деформации лицевых поверхностей изделий при контактной точечной сварке // Сварочные технологии и оборудование. – 2003. – №3. – С. 16–27.

6. Березиенко В.П., Фурманов С.М. Уменьшение глубины вмятин от электродов при контактной точечной сварке // Сварочное производство. – 2003. – №9. – С. 20–26.

7. Berezienko V.P., Furmanov S.M. Reducing the depth of indentation from electrodes in resistance spot welding // Welding International. – 2004. – 18 (2). – С. 139–144.

8. Фурманов С.М., Березиенко В.П. О разработке оборудования для контактной точечной сварки без вмятин на лицевых поверхностях изделий // Контактная сварка и другие виды сварки давлением. Технологии и оборудование: Материалы второго Международного научно-практического семинара. – Санкт-Петербург, 2005.- С. 15-20.

9. Фурманов С.М. О влиянии параметров режима контактной точечной сварки на конструктивные элементы соединений // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / ММИ.- Могилёв, 2000. – С. 226.

10. Фурманов С.М. О путях снижения глубины вмятины от электродов при контактной точечной сварке // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / МГТУ. – Могилев, 2001. – С. 194.

11. Березиенко В.П., Фурманов С.М. О снижении глубины вмятины от электродов при точечной сварке на лицевых поверхностях изделий // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: Материалы междунар. науч.-техн. конф. / МГТУ. – Могилев, 2002. – С. 274-275.

12. Фурманов С.М., Петушков А.А., Шабловский А.В. О моделировании термомодеформационных процессов контактной точечной сварки металлов неравной толщины // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ МГТУ. – Могилев, 2002. – С. 296-297.

13. Березиенко В.П., Фурманов С.М. Электродный узел для контактной точечной сварки деталей неравной толщины // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ МГТУ. – Могилев, 2003. – С. 243.

14. Фурманов С.М., Березиенко В.П., Цумарев Ю.А. О повышении износостойкости электродов при контактной точечной сварке на лицевых поверхностях изделий // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ МГТУ. – Могилев, 2003. – С. 265-266.

15. Фурманов С.М., Березиенко В.П. О кинетике образования вмятин от электродов при различных термомодеформационных циклах контактной точечной сварки // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2004. – С.228-229.

16. Фурманов С.М., Гезенцвей А.Г. О новых конструкциях электродных узлов для контактной точечной сварки. // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2004. – С.257.

17. Фурманов С.М., Бендик Т.И., Березиенко В.П. О совершенствовании термомодеформационных моделей контактной точечной и рельефной сварки // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы междунар. науч.-техн. конф./ Белорусско-Российский университет. – Могилев, 2005. – С.220-221.

18. Патент Республики Беларусь №769 (U), МПК В23К 11/30, 35/00. Конструкция электродного узла для контактной точечной сварки/ Попковский В.А., Латыпова Е.Ю., Цумарев Ю.А., Фурманов С.М.; Заявл. 31.05.2002; Оpubл. 30.03.2003.

19. Патент Республики Беларусь №831 (U), МПК В23К 11/30. Электрод для контактной точечной сварки/ Цумарев Ю.А., Фурманов С.М., Шабловский А.В., Латыпова Е.Ю., Ульянова А.А.; Заявл. 09.04.2002; Оpubл. 30.03.2003.

20. Патент Республики Беларусь № 1113 (U), МПК В23К 11/10, К 11/30 Электрод для контактной точечной сварки/ Доброход Ю.И., Фурманов С.М., Мешкова Е.В.; Заявл. 25.03.2003; Оpubл. 30.12.2003.

21. Патент Республики Беларусь ВУ 6269 С1, МПК В23К 11/10, К 11/30 Электрод для контактной точечной сварки / Березиенко В.П., Латыпова Е.Ю., Цумарев Ю.А., Фурманов С.М. ; Заявл. 28.04.2000; Оpubл. 30.06.2004.

22. Патент Республики Беларусь ВУ 6823 С1, G 01 N3/00. Способ испытания на циклическую прочность неразъемных соединений и устройство для его осуществления/ И.В.Тарасенко, Е.Ю.Латыпова, В.П.Березиенко, Ю.А.Цумарев, С.М.Фурманов; Заявл. 08.11.2000; Оpubл. 30.03.2005.

23. Патент Республики Беларусь ВУ 6959 С1, G 01 N3/00. Способ контактной точечной сварки/ С.М.Фурманов, В.П.Березиенко; Заявл. 29.10.2001; Оpubл. 30.03.2005, Бюл. № 1.

24. Патент Республики Беларусь ВУ 6958 С1, G 01 N3/00. Электродный узел для контактной точечной сварки/ Попковский В.А., Латыпова Е.Ю., Цумарев Ю.А., Фурманов С.М.; Заявл. 03.01.2001; Оpubл. 30.03.2005, Бюл. № 1.

РЭЗЮМЕ

Распрацоўка працэса кантактнай кропкавай зваркі, забяспечваючага зніжэнне дэфармацый правых паверхняў вырабаў

Фурманаў Сяргей Міхайлавіч

Ключавыя словы: кантактная кропкавая зварка, глыбіня ўмяціны, напружана-дэфармаваны стан, тэрмадэфармацыйны цыкл, метады канечных элементаў, электродная канструкцыя.

Аб’ект даследавання: зварныя злучэнні, выкананыя кантактнай кропкавай зваркай на правых паверхнях вырабаў.

Мэта работы: пошук эфектыўных шляхоў зніжэння дэфармацый правых паверхняў вырабаў на аснове кіравання тэрмадэфармацыйнымі працэсамі, працякаючымі пры кантактнай кропкавай зварцы, распрацоўка новых сродкаў регулявання напружана-дэфармаванага стану метала зоны злучэння і рашэнне на гэтай аснове прыкладных задач па зніжэнню сабекошту і паляпшэнню таварнага выгляду зварных канструкцый.

На аснове тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў вызначаны заканамернасці упругапластычнага дэфармавання паверхняў дэталей пры двухбаковай кропкавай зварцы і зварцы з прымяненнем з боку правай паверхні вырабу электрода с павялічанай плошчай кантакту. Паказана, што значнаму зніжэнню ступені пластычнай дэфармацыі метала ў асявым і радыяльным напрамках спрыяе стварэнне умоў дэфармавання, перашкаджаючых павялічэнню зазора паміж дэталямі ў працэсе зваркі і дазваляючых ажыццявіць максімальна магчымае зніжэнне часу працякання зварачнага тока і намагання сціску электродаў. Устаноўлена, што зніжэнню дэфармацый правых паверхняў вырабаў спрыяюць: прымяненне тугаплаўкіх высокаэлектра- і цеплаправодных уставак у электрод з павялічанай рабочай паверхняй; прыкладанне да перыферыйнай зоны злучэння сціскаючага намагання; зніжэнне намагання сціску электродаў за лік прымянення імпульса тока падагрэву і перадачы часткі абціскаючага намагання ў вобласць пластычнага паяска; зніманне намагання з токападводзячых электродаў у момант выключэння зварачнага тока і ажыццяўленне пракоўкі кальцавым пуансонам; паляпшэнне ўмоў ахаладжэння токападводзячых электродаў і перыферыйнай зоны злучэння.

Даказана, што прыкладанне намагання пракоўкі да кальцавога пуансону пры зніманні намагання сціску з электродаў спрыяе зніжэнню глыбіні ўмяцін і павышэнню трываласных уласцівасцяў злучэнняў.

Прапанаваны новы спосаб кантактнай кропкавай зваркі на правых паверхнях вырабаў і распрацавана спецыялізаванае абсталяванне для зваркі з незалежным сціскам перыферыйнай зоны. Распрацаваны электродныя канструкцыі з ахаладжаемым кальцавым пуансонам і з палепшанымі умовамі ахаладжэння токападводзячых электродаў.

РЕЗЮМЕ

Разработка процесса контактной точечной сварки, обеспечивающего уменьшение деформаций лицевых поверхностей изделий

Фурманов Сергей Михайлович

Ключевые слова: контактная точечная сварка, глубина вмятины, напряженно-деформированное состояние, термодетформационный цикл, метод конечных элементов, электродное устройство.

Объект исследования: сварные соединения, выполненные контактной точечной сваркой на лицевых поверхностях изделий.

Цель работы: поиск эффективных путей снижения деформаций лицевых поверхностей изделий на основе управления термодетформационными процессами, протекающими при контактной точечной сварке, создание новых средств регулирования напряженно-деформированного состояния металла зоны соединения и решение на этой основе прикладных задач по снижению себестоимости и улучшению товарного вида сварных конструкций.

На основе теоретических и экспериментальных исследований определены закономерности упругопластического деформирования поверхностей деталей при двухсторонней точечной сварке и сварке с применением со стороны лицевой поверхности изделия электрода с увеличенной площадью контакта. Показано, что значительному уменьшению степени пластической деформации металла в осевом и радиальном направлениях способствует создание условий деформирования, препятствующих увеличению зазора между деталями в процессе сварки и позволяющих осуществлять максимально возможное снижение времени протекания сварочного тока и усилия сжатия электродов. Установлено, что снижению деформаций лицевых поверхностей изделий способствуют: применение тугоплавких высокоэлектро- и теплопроводных вставок в электрод с увеличенной рабочей поверхностью; приложение к периферийной зоне соединения обжимающего усилия; снижение усилия сжатия электродов за счет применения импульса тока подогрева и передачи части обжимающего усилия в область пластического пояска; снятие усилия с токоподводящих электродов в момент выключения сварочного тока и осуществление проковки кольцевым пуансоном; улучшение условий охлаждения токоподводящих электродов и периферийной зоны соединения.

Доказано, что приложение усилия проковки к кольцевому пуансону при снятии усилия сжатия с электродов способствует уменьшению глубины вмятин и повышению прочностных свойств соединений.

Предложен новый способ контактной точечной сварки на лицевых поверхностях изделий и разработана специализированная установка для сварки с независимым обжатием периферийной зоны. Разработаны электродные устройства с охлаждаемым кольцевым пуансоном и с улучшенными условиями охлаждения токоподводящих электродов.

SUMMARY

Development of the process of the contact spot welding, ensuring a diminution of strains of the front faces of the plates

Furmanov Sergey Mihailovich

Key words: contact spot welding, indentation, strained-deformed condition, thermal-deformed cycle, finite element method, electrode device.

Object of a research: spot-welded joints with indentations from the electrodes on the front faces of plates.

The purpose of work: search for effective ways of the reduction of strains of the front faces of the plates by means of ruling of the thermal-deformed processes which take place during the contact spot welding, creation of new means of regulation of the strained-deformed condition of metal of the zone of welding joint and solution on this basis of applied problems on cost reduction and improving of the commodity look of welded constructions.

Because of theoretical and experimental researches have been defined the conformities of law of elastic-plastic deformation of the surfaces of double-side spot welded joints and welding with application the electrode with an enlarged working surface from the front face of plates. It has been shown, that the significant reducing of a degree of plastic deformation of metal in axial and radial directions is promoted by creation the deformation conditions what hindering the increasing of the gap between sheets during welding and permitting to realize the greatest possible reducing of the heat time and electrode pressure. It has been established, that reducing of indentation is promoted: application refractory high electro-conductive and heat-conductive electrode facing with an enlarged working surface; applying to a peripheral zone of the joint wring out force; reduction of the welding force by means of application of the impulse of preheating current and transfer of the part of forging force to the area of plastic ring; removal of the welding force from the electrodes at the moment of switching off of the welding current and realization the forging by means of a ring punch; improving of conditions of cooling of the electrodes and peripheral zone of joint.

It has been proved, that the applying of increased forging force to a ring punch, when electrode forging force is removed, reduces indentation and increases the strength properties of the joint.

The new method of contact spot welding on front faces of plates has been offered and the specialized welding machine with independent compression of a peripheral zone has been developed. The electrode devices with a cooled force punch and electrodes with the improved conditions of cooling have been developed.

ФУРМАНОВ Сергей Михайлович

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ
СВАРКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО УМЕНЬШЕНИЕ ДЕФОР-
МАЦИЙ ЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ**

05.03.06 - Технологии и машины сварочного производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд.л. 1.54. Тираж 100 экз. Заказ № ____.

—
Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/375 от 29.06.2004 г.
212005, г.Могилев, пр.Мира, 43

© ГУВПО «Белорусско-Российский
университет», 2005