

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ДЛЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ ГИБРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*А.О. КОРОТЕЕВ, Е.Н. ЦУМАРЕВ, Ю.А. ЦУМАРЕВ*

In this paper explores new innovative structural forms and principles of strength calculation of permanent joints on the basis of the finite element method are proposed to ensure getting correct results. The problems of rational design of permanent connections and components for them are solved.

Ключевые слова: неразъёмные соединения, концентрация напряжений, сварка плавлением, пайка, гибридное соединение, контактная точечная сварка

Современный этап развития мирового хозяйства характеризуется переходом к новым источникам экономического роста – экономике инноваций, основанной на научно-техническом прогрессе, превращающем науку и знания в глобальный фактор модернизации [1]. Техника создания неразъёмных соединений относится к ключевым технологиям XXI века [2] и поэтому является важной составной частью промышленного комплекса Республики Беларусь. Плановым заданием по развитию сварочного производства Республики Беларусь предусмотрено достижение к 2015 году следующих показателей [3]: 1) снижение удельного расхода наплавленного металла на 30%; 2) снижение энергоёмкости производства сварных конструкций на 40%; 3) снижение массовых показателей конструкций на 30%; 4) сокращение издержек производства на 50%.

Для решения этих сложных задач специалисты располагают значительным арсеналом технических решений и способов получения неразъёмных соединений, таких как сварка, пайка, склеивание и механическое соединение, например, заклепками. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки, а в производственных процессах изготовления изделий либо их проектирования они чаще всего рассматриваются как альтернативные. Таким образом, в современной технике эти разновидности соединений конкурируют друг с другом, т.к. расширение сферы применения неразъёмных соединений одной группы происходит за счет сокращения применения других их разновидностей. Однако при этом эволюция каждого способа (например, сварки) происходит обособленно, независимо от развития других способов создания соединений, что сдерживает развитие отрасли в целом.

По нашему мнению, многообразие технических решений, имеющих отношение к процессу создания неразъёмных соединений, в современной технике должно рассматриваться, как единый взаимообусловленный комплекс. Поэтому развитие этой системы, ее эволюцию также следует рассматривать как диалектическое единство, меняющееся в результате деятельности компонентов, составляющих этот комплекс. Естественно, что взаимодействие внутри столь сложных систем нельзя свести только к конкуренции технических решений. В последнее время в технике вообще и при соединении деталей в частности, появляются примеры объединения и взаимного дополнения технических решений, их симбиоз, для которого используют уже в качестве технического термин «гибридизация».

Очевидно, что гибридизация создает дополнительные предпосылки и возможности для разработки новых, более эффективных технологических и конструктивных технических решений в сфере соединения отдельных деталей в единую конструкцию. В качестве характерного примера, иллюстрирующего перспективы от объединения технических решений, можно привести так называемую гибридную лазерно-дуговую сварку [2, 4]. В ней сочетание обоих процессов приводит к идеальному использованию соответствующих преимуществ – высокой плотности энергии, глубокого проплавления и высокой скорости сварки за счет лазера с высокой способностью к заполнению зазора, характерной для дуговой сварки металлическим электродом. Аналогичный результат удачного сочетания и взаимодействия технических решений был получен в дуговой сварке с двойной газовой защитой [5, 6], где центральная область сварочной ванны находится в условиях защиты инертным газом, а более холодная, периферийная часть защищается активным углекислым газом. Такая схема защиты сварочной ванны обеспечила снижение расхода аргона с 10...15 л/мин до 2...3 л/мин, без ухудшения качества сварки кислотостойкой стали аустенитного класса. При детальной проработке конструкций горелок для реализации столь перспективной схемы необходимо проведение экспериментальных исследований, в частности, с использованием установки, предложенной в работе [7].

В рассмотренных примерах объединены технические решения технологического характера, не вызвавшие образования новой разновидности соединения. Более широкий круг могут образовать комбинации, в которых объединение технологий сочетается с различными типами соединений – сты-

ковыми, нахлесточными, точечными. Это позволит создавать новые разновидности неразъемных соединений комбинированного типа, которые по сложившейся в технике терминологии можно обозначить термином «гибридные», например, паяно-сварные, паяно-механические. Такой подход в ряде случаев может способствовать устранению недостатков одних типов соединений за счет удачного их применения в сочетании с другими, как при совместном использовании контактной точечной сварки с клеями, которое позволило значительно повысить циклическую прочность и коррозионную стойкость сварных соединений за счет образования единого нахлесточного клеесварного соединения [8]. В связи с расширением объема применения высокопрочных материалов, обладающих пониженной свариваемостью и повышенной чувствительностью концентрации напряжений, а также материалов с защитными покрытиями возрастает роль соединений гибридного типа.

Очевидно, что отдельные элементы любого гибридного соединения также должны иметь высокие характеристики экономичности и работоспособности. Однако в настоящее время не достаточно полно изучены важные особенности напряженно-деформированного состояния сварных, паяных соединений, а также соединений, выполненных контактной точечной сваркой. В данной работе нами принята попытка устранить имеющиеся пробелы и разработать ряд новых конструктивных элементов для неразъемных соединений на базе математического моделирования с использованием метода конечных элементов и пакетов прикладных программ.

В пайке, также как и в сварке, конструирование соединений развивается недостаточными темпами. В связи с расширением объемов применения более прочных, но менее пластичных конструктивных материалов в паяных изделиях это обстоятельство начинает сдерживать применение пайки в промышленности. В связи с тем, что для трубных паяных соединений ранее не ставилась и не решалась задача снижения уровня остаточных термических напряжений, нами было разработано техническое решение, в котором муфта, соединяющая две трубы, выполнена из материала с промежуточным значением коэффициента термического расширения. Кроме того, в соединении выполняются продольные прорезы, которые обеспечивают практически полное устранение радиальных напряжений в соединяемых трубах. В целом это приводит к заметному снижению уровня термических напряжений в соединяемых деталях [9].

Отмечено, что нахлесточные сварные соединения с фланговыми швами обладают низкой несущей способностью из-за концентрации рабочих напряжений у одного из краев шва. Чтобы изменить картину распределения и снизить концентрацию напряжений нами, было предложено гибридное соединение, в котором нахлесточное сварное соединение с продольными угловыми швами дополнено сварной точкой, размещенной между продольными швами, как показано рис 1. Расчеты показали, что такая точка снижает уровень рабочих напряжений в более нагруженных продольных швах примерно на 20%. При этом сварную точку можно использовать для упрощения сборки и предварительного скрепления соединяемых деталей [10]. При этом сварная точка для повышения эффективности может иметь овальную форму [11].

Повышение показателей работоспособности соединений, выполненных контактной точечной сваркой, является также весьма актуальной задачей, в связи с широким её распространением, особенно при сварке листовых конструкций в автомобилестроении. Основной причиной низкой статической и циклической прочности точечных сварных соединений, выполненных контактной сваркой, является значительная концентрация рабочих напряжений, обусловленная резким изменением размеров и формы [12]. К тому же, концентрация напряжений усугубляется вредным влиянием изгиба, который обусловлен внецентренным приложением продольной растягивающей нагрузки к соединяемым пластинам на участках, находящихся за пределами сварной точки.

Основным фактором, приводящим к концентрации напряжений, является сужение силового потока, вызванное меньшим поперечным размером сварной точки по сравнению с шириной соединяемых пластин [13]. Поэтому можно предположить, что для уменьшения этой разницы и связанного с ней одного из факторов концентрации напряжений можно изменить форму сварной точки, увеличив ее поперечный размер. Чтобы определить характер влияния формы сварной точки на ее несущую способность, нами были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния точечных соединений различной конструкции. Следует особо отметить, что все рассматриваемые варианты сварной точки, имели одинаковую площадь рабочего сечения. Таким образом, кроме точек, имеющих в плане круглую форму, были исследованы овальные точки с соотношением полуосей 1:2 при продольном и поперечном расположении овалов относительно оси сварного соединения. Толщина соединяемых стальных листов составляла 4+4 мм. Исследование проведено расчетным методом с использованием пакета прикладных программ «SOLID WORKS».

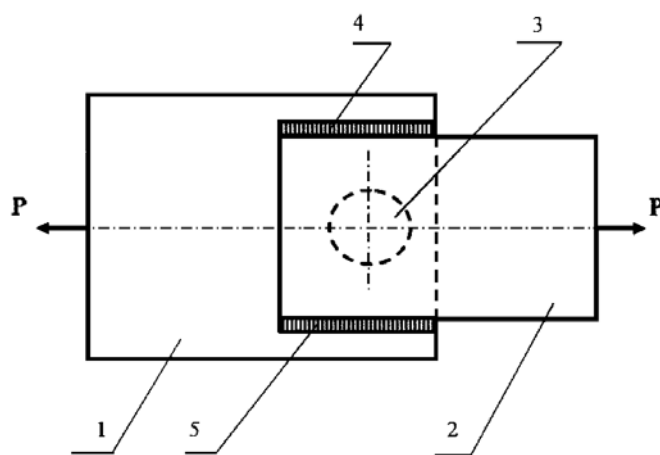


Рис. 1. Налесточное сварное соединение с продольными угловыми швами дополненное сварной точкой:  
1 и 2 – соединяемые детали, 3 сварная точка, 4,5 – угловые сварные швы,  
P – рабочая нагрузка

Полученные данные показывают, что форма сварной точки и характер ее расположения по отношению к оси соединения оказывают значительное влияние на картину распределения рабочих напряжений.

Наиболее высокий уровень интенсивности напряжений, а также касательных и нормальных напряжений был отмечен у овальных точек, большая полуось которых располагалась продольно. Наименьший уровень был характерен для овальных точек, расположенных поперечным образом. Благодаря использованию овальной точки и поперечному ее расположению уровень максимальной интенсивности рабочих напряжений по сравнению с точкой круглой формы уменьшился с величины 170 МПа до значения 120 МПа, т.е., в 1,4 раза. При этом максимальное значение касательных напряжений также снизилось с величины 82 МПа до 60 МПа (в 1,37 раза), а максимальное значение нормальных напряжений уменьшилось с 200 МПа до величины 163 МПа. Характерно, что снижение уровня рабочих напряжений в точках, расположенных на продольной оси, сопровождается их увеличением в точках, лежащих на поперечной оси.

Наибольший уровень напряжений имел место в соединении с продольно расположенной овальной точкой. Таким образом, соединение с поперечно расположенной овальной точкой характеризуется более равномерным распределением рабочих напряжений. В таком соединении более нагруженной является центральная область сварной точки.

Варьируя соотношением между длинами большой и малой полуосей овала сварной точки можно влиять на максимальную величину рабочих напряжений и добиваться более высокой прочности сварного точечного соединения. Поэтому точечное соединение с поперечно расположенной овальной точкой можно рекомендовать для применения в практике контактной точечной сварки [14, 15].

Для получения сварных точек овальной формы можно использовать электроды, которые имеют некруглую (не обязательно строго овальную) форму рабочей поверхности.

Еще одним из путей, обеспечивающих получение таких точечных соединений, является применение рельефов, закладываемых между свариваемыми деталями перед их сваркой.

Особенности процесса формирования сварных точек с участием предварительно закладываемых рельефов слабо освещены в литературных источниках, хотя очевидно, что они могут быть дополнительными рычагами воздействия на весь процесс контактной точечной сварки. Например, варьируя химическим составом материала рельефа можно решать технологические задачи за счет подбора оптимальной температуры плавления материала используемого рельефа и его удельного электросопротивления, а также регулировать прочность путем легирования металла литого ядра

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы при создании электрозаклепочных сварных соединений, в которых поперечно расположенные овальные точки также будут обладать более высокими характеристиками несущей способности.

#### Литература

1. Ленчук Е.Б. Проблемы формирования национальной инновационной системы в России // Наука и инновации, 2008, № 5.- с.48 – 52.
2. Дилтай У. Сварка и соединение – ключевые технологии третьего тысячелетия // Автоматическая сварка.- 2008.- № 11.- С. 101 – 107.

3. Концепция развития сварочного производства Республики Беларусь на 2001 – 2015 г.г. Материалы II международного симпозиума «Сварка и родственные технологии: мировой опыт и достижения». Минск, 28 марта 2001г. - с. 215-254.
4. *Миддельдорф К., Д. фон Хофе* Тенденции развития технологий соединения материалов // Автоматическая сварка.- 2008.- № 11.- С. 39 – 47.
5. *Лаврищев В.Я.* Автоматическая сварка стали X18N10T с двойной газовой защитой // Автоматическая сварка.- 1970.- № 2.- С. 41 – 43.
6. *Патон Б.Е.* Газоэлектрическая сварка и рациональные области ее применения // Автоматическая сварка.- 1957.- № 3.- С. 3 – 7.
7. Устройство для визуализации газового потока. Пат. РБ № 7645(U). МПК В 23 К 9/00. Авторы: Куликов В.П., Цумарев Ю.А., Коротеев А.О., Олешкевич Д.А. Заявл. 23.03.2011 г., опубл. 30.10.2011.
8. *Шавырин, В.Н.* Клеесварные конструкции / В.Н. Шавырин, В.И. Рязанцев.- М.: Машиностроение, 1981.-168 с.
9. Муфтовое соединение труб пайкой. Пат. РБ № 5059 (U). МПК В 23 К 3/00. Авторы Цумарев Ю.А., Попковский В.А., Латун Т.С., Цумарев Е.Н. Заявл. 5.06. 2008, опубл. 28.02.2009.
10. Соединение неразъемное гибридное. Пат. РБ № 7930 (U). МПК В 23 К 11/00. Авторы Цумарев Ю.А., Шелег В.К., Цумарев Е.Н., Олешкевич Д.А. Заявл. 18.07. 2011, опубл. 28.02.2012.
11. Сварное точечное соединение. Пат. РБ № 8436 (U). МПК В 23 К 33/00. Авторы Цумарев Ю.А., Емельянов С.Н., Березинко В.П., Попковский В.А., Цумарев Е.Н. Заявл. 16.01.2012, опубл. 30.08.2012.
12. *Аснис, А.Е.* Повышение прочности сварных конструкций / А.Е. Аснис, Г.А. Иващенко.- Киев.: Наукова думка.- 1978.- 193 с.
13. *Николаев, Г.А.* Сварные конструкции. Расчет и проектирование / под ред. Г.А. Николаева.- М.: Высшая школа.- 1990.- 446 с.
14. Цумарев Ю.А., Емельянов С.Н., Цумарев Е.Н. Распределение рабочих напряжений в соединениях, выполненных контактной точечной сваркой. Сборник материалов 14 международного симпозиума «Технологии, оборудование, качество». Белорусский промышленный форум, 19-22 мая 2011 г. Минск.- С. 175.
15. *Цумарев Ю.А., Емельянов С.Н., Цумарев Е.Н., Шелег В.К.* Влияние формы точки на несущую способность сварного соединения // Вестник машиностроения, 2012, № 7.- С. 54 -56.