

Программная реализация предложенной методики позволила менее чем за одну секунду найти конфигурации для степеней 100, 207 и 303. Для неприводимого полинома $1 \oplus x^{500} \oplus x^{501} \oplus x^{502} \oplus x^{503}$ был найден следующий порождающий вектор: [7 6 7 (7 6)250].

Литература

1. Мурашко, И.А. Встроенное самотестирование. Методы минимизации энергопотребления (монография) / И. А. Мурашко, В. Н. Ярмолик. – Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – С. 348.
2. Hortensius, P.D. Parallel random number generation for VLSI systems using cellular automata / P. D. Hortensius // IEEE Transactions on Computers. – 1989. – Vol. 38 (10). – P. 1466–1473.
3. Dennunzio, A. Non-uniform cellular automata: Classes, dynamics, and decidability / A. Dennunzio, E. Formenti, J. Proville // Information and Computation. – 2012. – Vol. 215. – P. 32–46.

© БРУ

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ДЛЯ СВАРКИ И ПАЙКИ

Е.Н. ЦУМАРЕВ, Т.С. ЛАТУН

The paper deals with rational design methods in the manufacture of structures for fusion welding and resistance spot welding. Performed finite-element analysis of the stress-strain state of lap welds and welded T-joints with interrupted sutures, and the welded joints made of the resistance spot welding. The problems of rational design of one-piece brazed and welded joints and connections combined type

Ключевые слова: сварные и паяные соединения, фланговые и лобовые швы, изгиб, гибридное соединение, концентрация напряжений

Развитие техники на современном этапе в значительной мере связано с совершенствованием процессов создания неразъемных соединений. Это обусловлено постоянным усложнением условий эксплуатации изделий, созданием новых, более совершенных материалов для их изготовления, а также тенденцией к постоянному повышению уровня проектных решений во всех областях техники. Возрастают также требования к более рациональному использованию ресурсов, используемых при соединении деталей [1].

Технологические процессы сварки и пайки в настоящее время составляют основу техники создания неразъемных соединений. Это особенно заметно в области совершенствования технологии и оборудования, тогда, как техника конструирования соединений пока не получила заметного развития. Поэтому в настоящее время сварка является весьма энергоемким и ресурсоемким технологическим процессом [2], а в сварных соединениях отмечается чрезмерное количество наплавленного металла [3]. Чтобы повысить качество проектирования металлических конструкций и тем самым обеспечить не только решение задач ресурсосбережения, но и устранить важнейший фактор преждевременного их разрушения необходимо более широко использовать математическое моделирование полей напряжений. В первую очередь это касается соединений с угловыми швами, доля которых в общем объеме сварных соединений составляет не менее 70% [4]. Отсутствие прогресса в этом важном направлении заставляет разработчиков металлических конструкций решать те или иные вопросы реального конструирования неразъемных соединений экспериментальным путем, что неоправданно увеличивает сроки подготовки производства и его издержки. При этом не удается достигнуть оптимальных характеристик работоспособности изделий. В данной работе предполагается устранить этот пробел и разработать ряд новых конструктивных элементов для сварных и паяных соединений на базе математического моделирования с использованием метода конечных элементов и пакетов прикладных программ.

Нахлесточные сварные соединения находят широкое применение при производстве сварных конструкций благодаря своей технологичности, поэтому анализ их напряженно-деформированного состояния является актуальной задачей. Однако широко распространенная схема нагружения, в которой сварное соединение рассматривается как свободное твердое тело, находящееся под действием пары сил (рисунок 1) не соответствует принципу статического равновесия рассматриваемой системы.

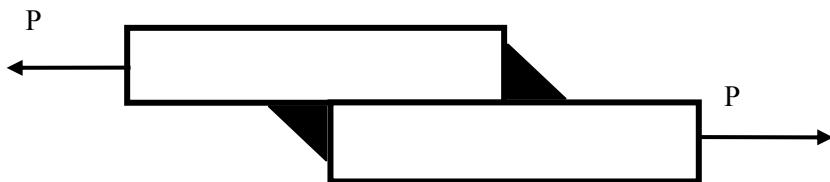


Рис. 1 – Расчетная схема сварного нахлесточного соединения, находящегося под действием пары сил

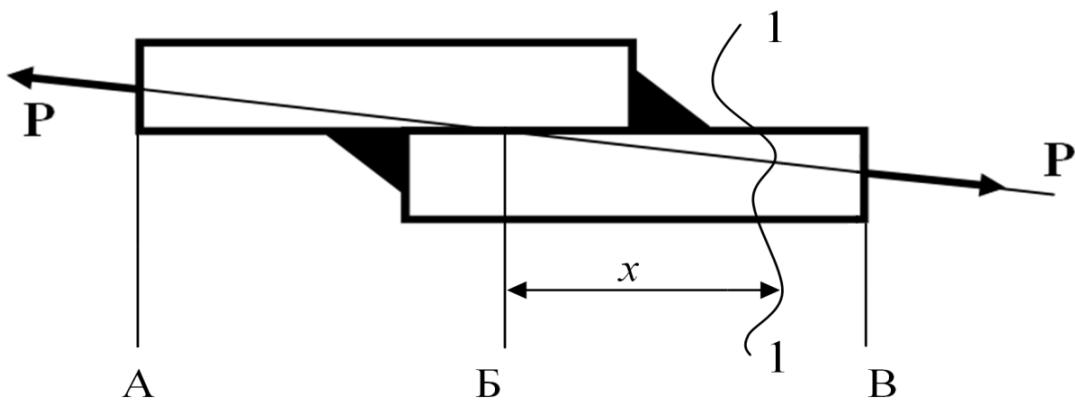


Рис. 2 – Расчетная схема сварного нахлесточного соединения, соответствующая принципу статического равновесия

Чтобы частично устраниТЬ имеющиеся пробелы нами были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния нахлесточных соединений различной конструкции. При этом был использован программный комплекс SOLID WORKS, а также схема нагружения, которая предложена в работе [5] и показана здесь на рисунке 2.

Для получения сравнивательных данных проведены расчеты напряженно-деформированного состояния различных сварных соединений с продольными швами. Чтобы оценить влияние изгиба, были рассчитаны нахлесточные сварные соединения, которые отличались величиной расстояния между осями свариваемых пластин. Уменьшение расстояния между осями свариваемых пластин в соединении, было достигнуто за счет выполнения скоса в каждой из упомянутых пластин в области нахлестки. Кроме нахлесточных было рассчитано сварное крестовое соединение [6], свободное от изгибных напряжений. Поскольку в крестовом соединении содержится не два, а четыре продольных угловых шва, их катет при проведении расчетов был уменьшен в 2 раза, что позволило получить сопоставимые результаты.

Полученные данные подтверждают предположение о значительном влиянии, которое оказывает конструкция соединения с продольными швами на уровень максимальных напряжений в этих швах. Даже частичное устранение изгиба, которое обеспечивает конструкция со скосом кромки, способствует снижению максимального уровня нормальных, касательных и эквивалентных напряжений в 1,34, 1,32 и 1,38 раза соответственно. Полное устранение изгиба соединяемых пластин, достигаемое в крестовом соединении, еще больше снижает максимальные значения рабочих напряжений (нормальных в 2,33 раза, касательных – в 2,16 раза и эквивалентных – в 1,99 раза).

Обращаем внимание, что соединение крестового типа, содержащее 4 продольных угловых шва с катетом 2,5 мм требует в два раза меньшего объема наплавленного металла и соответственно является более экономичной.

В сварном соединении с фланговыми швами величина нахлестки определяет длину угловых сварных швов. Поэтому здесь она является важнейшим конструктивным параметром, который учитывается в расчетах на прочность [7]. Для соединений с лобовыми швами действующие стандарты предусматривают несколько иной подход. Величина нахлестки в них рассматривается, как чисто справочный размер. По нашему мнению, такой подход не вполне обоснован и требует корректировки т.к. от величины нахлестки зависит смещение линии действия приложенных сил P от центра тяжести сечения отдельной пластины. Поэтому нахлестка должна оказывать значительное влияние на величину напряжений, обусловленных изгибом, а, значит, и на величину суммарных рабочих напряжений. Для определения степени такого влияния в данной работе были проведены расчеты напряженно-деформированного состояния однотипных нахлесточных сварных соединений с лобовыми швами, отличающихся друг от друга только величиной нахлестки.

Полученные результаты подтвердили предположение о значительном влиянии величины нахлестки на уровень максимальных рабочих напряжений в нахлесточном соединении с лобовыми швами. С увеличением нахлестки от 3 мм до 30 мм максимальная интенсивность напряжений в соединении уменьшается с 62,9 МПа до 45 МПа, т.е., в 1,4 раза. Следовательно, столь значительные изменения уровня рабочих напряжений требуют изменения существующего подхода к назначению величины нахлестки, чтобы не допустить резкого снижения несущей способности сварного соединения.

В практике изготовления сварных конструкций находят применения нахлесточные и тавровые сварные соединения с прерывистыми швами [7]. Обоснованием необходимости применения таких сварных швов является экономия ресурсов и снижение себестоимости изготовления, достигаемое за счет уменьшения объема слабо нагруженных сварных швов. Однако такой подход к достижению высоких показателей экономичности нуждается в определенном уточнении.

В опубликованных литературных данных нет сведений об особенностях напряженного состояния таких соединений, что придает актуальность любым попыткам пролить свет на эти особенности. В качестве исходной гипотезы можно сделать предположение о наличии значительной концентрации рабочих напряжений в крайних точках каждого из прерывистых швов, входящих в конструкцию отдельного соединения. Возможность такой концентрации обусловлена сгущением сплошного силового потока при разветвлении той его части, которая приложена в областях, соответствующих промежуткам между отдельными элементарными швами.

Основные размеры угловых сварных швов определяют расчетом из условия прочности, описываемого общеизвестным соотношением:

$$\frac{P}{\beta L k} \leq [\tau'] \quad , (1)$$

где P – нагрузка, воспринимаемая прерывистым швом; β – коэффициент, учитывающий глубину проплавления и зависящий от способа сварки; L – суммарная длина всех участков прерывистого шва; k – катет углового сварного шва.

Используя данное соотношение можно рассмотреть два равнопрочных шва, размеры которых будут связаны соотношением:

$$L_1 k_1 = L_2 k_2. \text{ Если } k_1 = n k_2 \quad (n > 1), \text{ то } L_2 = L_1/n, \quad (2)$$

Сравним объемы сплошного и прерывистого швов

$$V_1 = 0,5k_1^2 L_1; \quad V_2 = 0,5k_2^2 L_2 = 0,5 \frac{k_1^2}{n^2} L_1 n = \frac{V_1}{n}, \quad (3)$$

Последнее соотношение показывает, что сплошной шов имеет меньший объем, чем прерывистый. Поэтому применение прерывистых швов с экономической точки зрения может быть оправдано только в том случае, когда сплошной шов будет недогруженным даже при минимально возможном значении катета шва (по данным Г.А. Николаева [7] оно составляет 3 мм). Однако здесь следует учитывать концентрацию напряжений, обусловленную наличием непроваренных участков, их пониженную коррозионную стойкость, а также более низкое качество начальных и конечных участков каждого из прерывистых швов.

Для выявления концентраторов напряжений и оценки степени их опасности были проведены расчеты конечно-элементных моделей сварных тавровых соединений, разработанных для прерывистого шва с катетом 8 мм, а также для сплошного шва катетом 4 мм. Уменьшение катета сплошного шва сопровождалось увеличением общей длины проваренных участков в полном соответствии с соотношением (3).

Результаты показали, что с уменьшением катета сварных швов с 8 мм до 4 мм при замене прерывистого шва сплошным максимальные эквивалентные напряжения в них уменьшаются с 10,2 МПа до 3,22 МПа (в 3,17 раза).

Отметим, что объем сплошного шва составляет 4800 mm^3 , что в 2 раза меньше объема прерывистого шва катетом 8 мм. Уровень максимальных касательных напряжений в соединении сплошным швом составил 1,44 МПа (в 2,53 раза меньше, чем у прерывистого шва катетом 8 мм), а уровень нормальных напряжений снизился до величины 2,87 МПа (в 2, 96 раза).

Таким образом, результаты проведенных теоретических исследований показали, что по технико-экономическим показателям сплошные швы имеют более низкую ресурсоемкость и более высокую несущую способность одновременно. Поэтому в практике проектирования и изготовления сварных конструкций следует применять сварные швы с минимально возможным катетом и соответственно максимально возможной длины. Такой подход позволяет не только повысить несущую способность таврового соединения, но и сократить расход ресурсов, необходимых для его изготовления [8, 9].

Важным резервом в повышении эффективности сварочных работ является использование рационально выполненной подготовки кромок перед сваркой угловых швов. Ниже представлены такие конструктивные решения, разработанные с участием автора. Все три решения объединены одной идеей, которая реализована в различных типах сварных соединений [10, 11], а также при изготовлении паяных нахлесточных соединений дуговой пайкой [12].

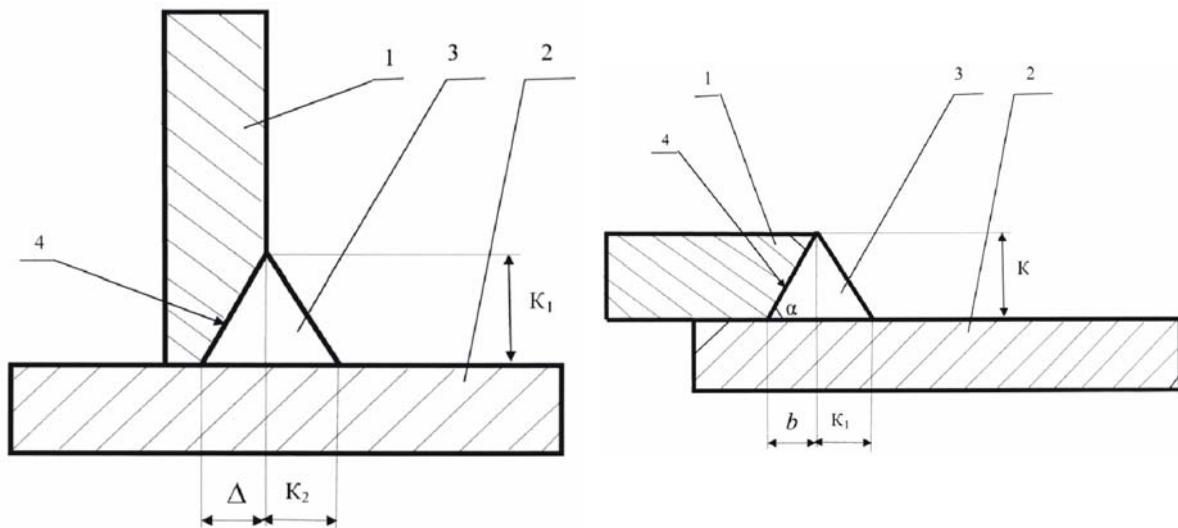


Рис. 3 – Схема таврового (а) и нахлесточного (б) сварного соединения:
1 и 2 – соединяемые детали, 3 – сварной шов, 4 – скосенная кромка

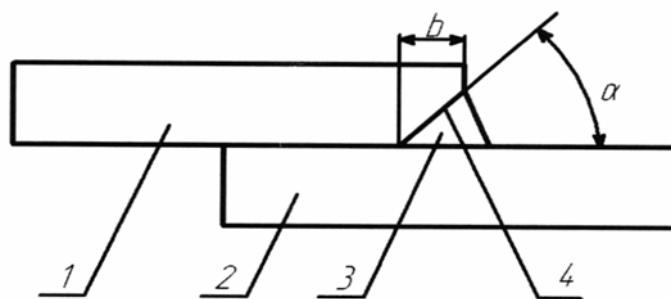


Рис. 4 – Паяное нахлесточное соединение с угловым швом:
1 и 2 – соединяемые детали, 3 – сварной шов, 4 – скосенная кромка

Для всех соединений, показанных на рисунках 3 и 4, наличие скоса кромки позволяет увеличить площадь разрушения используемых швов при одинаковых объемах наплавленного металла. Это свойство применительно к дуговой пайке позволяет снизить термическое воздействие на основной металл и тем самым обеспечить требуемую стойкость цинкового защитного покрытия. Поэтому такие паяные соединения имеют не только высокую прочность, но и обладают хорошей коррозионной стойкостью.

В работе [13] предложено использовать пайку для снижения концентрации напряжений в сварных соединениях. Схематично такое техническое решение показано на рисунке 5.

Согласно ему в местах перехода от сварного шва к основному металлу, где имеет место значительная концентрация напряжений, выполняются напайки из материала (припоя) с модулем упругости, меньшим, чем у материала сварного шва. Благодаря этому силовой поток, концентрирующийся у краев сварного шва, разветвляется. Часть его по-прежнему проходит через концентратор напряжений, а другая часть воспринимается предлагаемой напайкой. Поэтому концентрация напряжений в месте перехода от шва к основному металлу резко уменьшается.

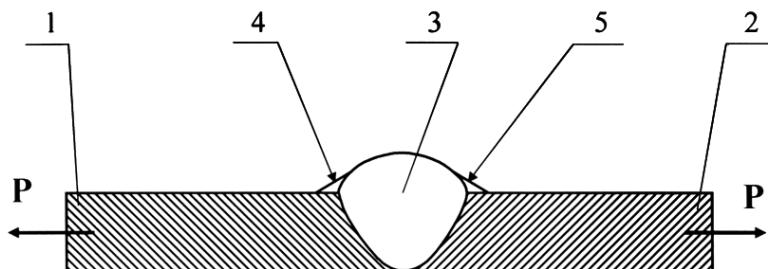


Рис. 5 – Схема гибридного паяно-сварного соединения, обеспечивающего снижение концентрации напряжений: 1 и 2 – соединяемые заготовки, 3 –стыковой сварной шов, 4,5 – напайки из материала с более низким модулем упругости, чем у основного материала, Р – приложенное усилие

Литература

1. *Дилтай У.* Сварка и соединение – ключевые технологии третьего тысячелетия // Автоматическая сварка.- 2008.- № 11.- С. 101 – 107.
2. 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.
3. *Миддельдорф К., Д. фон Хофе* Тенденции развития технологий соединения материалов // Автоматическая сварка.- 2008.- № 11.- С. 39 – 47.
4. *Иващенко Г.А., Снежков Н.С.* Уменьшение массы наплавленного металла угловых швов тавровых соединений с разделкой кромок // Сварочное производство.- 1991.- № 8.- С. 14 – 16.
5. *Цумарев, Ю.А.* Сравнительная оценка прочности паяных соединений со скосенными кромками / Ю.А. Цумарев, Е.В. Игнатова, Е.Ю. Латыпова // Сварочное производство, 2011.- № 11.- С.
6. *Навроцкий, Д.И.* Расчет сварных соединений с учетом концентрации напряжений.- Л.: Машиностроение.- 1967.- 163 с.
7. *Николаев Г.А.* Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. М.: Высшая школа.- 1990.- 446 с.
8. *Цумарев Ю.А., Цумарев Е.Н., Сасновский С.П., Сущик С.Н.* Сварное соединение. Решение о выдаче патента по заявке и № 20120243 с приоритетом от 11 марта 2012 г.
9. *Цумарев Ю.А., Сущик С.Н., Цумарев Е.Н.* Технико-экономическая эффективность применения прерывистых сварных швов. Материалы международной НТК «Материалы, оборудование, и ресурсосберегающие технологии». Могилев, 19-20 апреля 2012 г. С.201.
10. Неразъемное соединение с угловым швом. Пат. РБ № 5646 (U). МПК В 23 К 33/00. Авторы: Цумарев Ю.А., Радченко А.А., Попковский В.А., Клочков В.Н., Цумарев Е.Н. Заявл. 23.02.2009, опубл. 30.10.2009 г.
11. Сварное соединение. Пат. Р.Б. № 5647 (U). МПК В 23 К 33/00. Авторы Цумарев Ю.А., Радченко А.А., Попковский В.А., Клочков В.Н., Цумарев Е.Н. Заявл. 23.02.2009, опубл. 30.10.2009 г.
12. Паяное соединение внахлестку. Пат. РБ № 5134(U). МПК В 23 К 3/00. Авторы: Павлюк С.К., Цумарев Ю.А., Лупачев А.В., Цумарев Е.Н. Заявл. 17.06.2008, опубл. 30.04.2009 г.
13. *Цумарев Ю.А., Шелег В.К., Игнатова Е.В., Цумарев Е.Н., Олешикевич Д.А.* Неразъемное соединение гибридного типа. Пат. РБ. № 7928 (U). МПК В 23 К 3/00. Заявл. 15.07.2011, опубл. 28.02.2012.

©БНТУ

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЦВЕТОМ

Л.Д. ЧАЙКОВА, Е.Н. САВКОВА

One of the important directions of modern development colorimetry is the development and perfection of systems of control and color management in the applications of digital image processing, pictures, print, due to the wide spread of computer equipment and information technologies

Ключевые слова: цвет, цифровое изображение, устройства воспроизведения

Одним из актуальных направлений современного развития колориметрии является разработка и совершенствование систем контроля и управления цветом в приложениях цифровой обработки изображений, фотографии, печати и полиграфии, что обусловлено широким распространением средств вычислительной техники и информационных технологий. Целью данных систем является повышение точности воспроизведения цветовых характеристик объектов путем согласованной цветопередачи между воспроизводящими устройствами (камерами, компьютерами, принтерами и т.д.) и материалами за счет компенсации присущих им искажений и несовпадения цветовых охватов. В настоящее время такие процедуры осуществляются посредством встроенного программного обеспечения, разработанного с учетом индивидуальных особенностей устройств и применяемых материалов. В области перекрытия цветовых охватов передающих устройств обработка графических данных сводится к автоматической аппроксимации цвета посредством сравнения с встроенными в программное обеспечение цветовыми мишениями. Воспроизведение цвета за пределами охвата в большинстве случаев основано на явлении метамерии (замене исходных цветов схожими в той или иной степени). Поэтому при обработке цифровых изображений часто возникает проблема рассогласования цветов, воспроизводимых на сканере, видеотерминале и принтере. Как правило, данная проблема решается субъективной поднастройкой цветовых характеристик изображения до получения максимального визуального сходства с оригиналом, что является вполне допустимым, например, в полиграфии. Однако в случае применения цифровой регистрации для решения контрольно-измерительных задач (в медицине, лакокрасочной промышленности, светотехнике) необходимо обеспечить требуемую степень точности отображения для получения достоверной информации об объекте. Поэтому важной задачей является разработка метрологической модели процесса воспроизведения цвета, позволяющей учитывать неопределенности всех звеньев измерительного канала и осуществлять его оптимизацию для получения результатов измерений с суммарной неопределенностью, не превышающей $\pm 10\%$. Для того чтобы аккредитованные измерительные и испытательные лаборатории могли применять данные методы в рамках общепринятой практики, они должны быть стандартизованы, что достигается посредством валидации. Согласно СТБ ИСО/МЭК 17025. Основными факторами, влияющими на формирование воспринимаемого цвета, являются спектральные характеристики источника света, окружающей среды, приемника излучения. Таким образом, результирующее значение цвета, описываемое посредством цветовых координат в различных математических моделях, представляет собой сверточную опе-