



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 621.791

СВАРОЧНАЯ УСАДКА, МЕРЫ БОРЬБЫ С УСАДКОЙ WELD SHRINKAGE, SHRINK CONTROL MEASURES

Абуладзе Левани Кобаевич, Выпускник факультета «Специальное машиностроение», МГТУ им. Баумана

Abuladze Levani Kobayevich, Graduate of the Faculty of "Special Mechanical Engineering" of Bauman Moscow State Technical University

Аннотация. В статье анализируются меры борьбы со сварочной усадкой. Рассматриваются понятие, механизм образования и характер распространения усадки сварного изделия. Приводятся методы борьбы с остаточными напряжениями сварной конструкции, классифицированные по времени воздействия на изделие. Выявляются механизмы и особенности применения основных способов устранения сварочной усадки, таких как пластическая деформация сварного шва, проковка, прокатка, импульсная обработка взрывом, термическая и вибрационная обработка.

Annotation. The article analyzes measures to combat welding shrinkage. The concept, mechanism of formation and nature of the spread of shrinkage of a welded product are considered. Methods for dealing with residual stresses of a welded structure are given, classified according to the time of exposure to the product. The mechanisms and features of the application of the main methods of eliminating welding shrinkage,

such as plastic deformation of the weld, forging, rolling, pulsed explosion treatment, heat and vibration treatment, are revealed.

Ключевые слова: металл, сварка, сварочный шов, сварочная усадка, остаточные напряжения.

Key words: metal, welding, welding seam, welding shrinkage, residual stresses.

Сварные металлические конструкции находят широкое применение во всех сферах промышленности благодаря своей универсальности [1]. Однако их качественная эксплуатация требует учёта и снижения сварочных напряжений, одной из причин которых выступает усадка [2]. Остаточные сварочные напряжения и деформации не только требуют увеличения объёма ручных пригоночных работ, но и снижают прочность готового изделия, что делает актуальным исследование методов нейтрализации остаточных напряжений в целом и сварочной усадки в частности.

Целью работы является изучение мер борьбы со сварочной усадкой. Для её достижения были использованы аналитический, синтетический, индуктивный и дедуктивный методы обработки тематических исследований, научных публикаций и релевантных литературных источников.

Сварочная усадка шва представляет собой уменьшение объёма металла в процессе его остывания [3]. Она является одной из причин возникновения сварочных напряжений при переходе металла из жидкого состояния в твёрдое. На стадии охлаждения и кристаллизации жидкого ядра металла его объём уменьшается неравномерно по сечению: наибольшая усадка ядра наблюдается в центральной области [4]. Дальнейшему уменьшению объёма ядра препятствуют слои металла околошовной зоны, которые расположены рядом. Усадка ядра сопровождается деформацией металла от границ сварной точки к центру, способствующей образованию несплошностей, в особенности при повышенных усилиях проковки.

Усадка сварного шва вызывает продольные и поперечные деформации изделия, однако характер распределения внутренних напряжений определяется

не только усадкой и внешним давлением, но и сопротивлением пластической деформации металла, вследствие чего он изменяется во времени [5]. В начале охлаждения либо при сравнительно малом значении сопротивления пластической деформации поперечная усадка в значительной степени компенсируется деформацией металла. При точечной сварке растягивающие напряжения в поперечном направлении невелики, а в приэлектродной области зачастую фиксируются остаточные сжимающие напряжения. Продольная усадка практически не компенсируется, поскольку благодаря охлаждению вокруг литого ядра формируется своеобразный жёсткий каркас, который препятствует деформации от внешнего усилия в этом направлении. В результате в центральной части сварочной зоны развиваются процессы образования остаточных окружных и радиальных напряжений.

Все методы борьбы с остаточными напряжениями можно разделить на три группы в зависимости от времени применения [6-8]:

I. До сварки:

1. Рациональное конструирование изделий. Подразумевает ограничение количества наплавленного металла посредством снижения угла скоса кромок либо уменьшения катетов швов, недопущение пересечения в одной точке более трёх швов и расположения сварных швов в местах воздействия максимальных напряжений от внешних нагрузок. Сварные швы следует располагать симметрично относительно главных осей всей конструкции и отдельных элементов.

2. Сборка деталей с учётом вероятных деформаций. Необходимо предугадать характер возможных напряжений и предварительно выгнуть свариваемые детали в противоположную сторону. Также рекомендуется избегание прихваток, создающих жёсткое закрепление деталей и способствующих возникновению значительных остаточных напряжений, и применение сборочных приспособлений, которые допускают перемещение деталей при усадке металла.

II. В процессе сварки:

1. Рациональная последовательность наложения швов. Формирующие жёсткий контур замыкающие швы должны завариваться в последнюю очередь.

2. Уравновешивание деформаций за счёт последовательности выполнения швов. Каждый следующий шов необходимо накладывать так, чтобы он вызывал деформации обратного направления относительно деформаций предыдущего шва. Может использоваться сварка от середины шва в оба конца.

3. Жёсткое закрепление деталей при сварке в сборочно-сварочных приспособлениях. Сварное соединение извлекается из приспособления только после полного охлаждения.

4. Одноступенчатый способ сварки. Заключается в разбиении шва на участки длиной от 100 до 300 мм и выполнении их сварки в обратных направлениях так, чтобы окончание каждого участка совпадало с началом предыдущего.

5. Уменьшение угловых деформаций. Угловая деформация снижается благодаря последовательному переходу при сварке отдельных валиков между сторонами конструкции. Метод актуален для многопроходной сварки изделий, обладающих большой толщиной.

6. Уменьшение зоны разогрева. Достигается при помощи повышения скорости сварки, использования теплоотводящих подкладок или охлаждающих смесей.

III. После сварки:

1. Механическая правка. Заключается в создании статической или ударной нагрузки, обычно прилагающейся со стороны наибольшего выгиба изделия, посредством домкратов, молотов, винтовых прессов и других приспособлений.

2. Термическая правка. Представляет собой местный нагрев небольших участков металла подвергшейся деформации конструкции.

3. Термомеханическая правка. Является сочетанием местного нагрева и приложения статической нагрузки, которая изгибает исправляемый элемент конструкции в требуемом направлении.

Основным способом устранения сварочной усадки является термическая обработка с применением режима отпуска [9]. Термообработка проводится для целенаправленного изменения структуры материала: фазового состава и перераспределения компонентов, формы и размеров кристаллических зёрен, вида, количества и распределения дефектов. Отпуск проводится при температуре 650...680°C и позволяет не только снять внутренние напряжения, но и привести закалённый сплав в более устойчивое структурное состояние, повысить вязкость и пластичность материала. Однако метод термообработки отличается высокой стоимостью и трудоёмкостью, требует специализированного оборудования и неприменим для изделий большого размера и сложной формы.

Остаточные напряжения могут быть сняты при помощи пластической деформации сварного шва [10]. При использовании данного метода в зоне сварного шва течение металла направляется перпендикулярно к вектору приложения нагрузки, вследствие чего перераспределяются остаточные напряжения и упрочняется поверхность шва и околошовной зоны. Этот метод сравнительно доступен, однако имеет ряд недостатков: изменение размеров и формы детали, рост местных трещин при высоких нагрузках, нарушающий прочность изделия, и другие.

Можно выделить ещё ряд методов борьбы со сварочной усадкой [11]:

- проковка, осаждающая металл по толщине и создающая в перпендикулярном направлении удара плоскости пластические деформации удлинения;
- импульсная обработка взрывом, создающая напряжения в поверхностном слое, что приводит к перераспределению остаточных напряжений и повышению выносливости сварных соединений;
- прокатка зоны сварного соединения, уменьшающая остаточные напряжения и заглаживающая сварной шов, однако могущая привести к превращению растягивающих напряжений в сжимающие;
- приложение нагрузок в процессе сварки, позволяющее создать в её зоне растягивающие напряжения, что приводит к уменьшению усадочной силы.

Перечисленные методы обработки делают процесс изготовления конструкции более трудоёмким и не всегда допустимы, особенно для конструкций, которые выполняются из термически обработанных или склонных к образованию хрупких структур материалов. Помимо этого, отдельные виды обработки неспособны устранить все недостатки сварочного процесса.

Более совершенным, универсальным и экономичным методом снижения остаточных напряжений является метод низкочастотной вибрационной обработки [12]. Он основан на инициации и введении в сварную конструкцию упругих колебаний малых амплитуд на резонансных или околорезонансных частотах, что приводит к снижению и перераспределению остаточных напряжений, стабилизации формы и размеров конструкции, увеличению коррозионной стойкости, длительной и усталостной прочности изделия.

Таким образом, применение методов снижения остаточных напряжений в сварных конструкциях позволяет минимизировать сварочную усадку. Снижение остаточных напряжений способно упростить технологию создания металлических соединений и снизить трудоёмкость сборки и монтажа конструкции, устранить искажения геометрической формы элементов изделия, нивелировав риск создания дополнительных неучтённых напряжений в несущих элементах, улучшить эксплуатационные характеристики и внешний вид изделий.

Список литературы

1. Тажибаев А.Р., Тажибаева А.В., Бикбулатова Г.И. Методы выявления и снижения остаточных напряжений в сварных соединениях // Современные материалы, техника и технологии. – 2021. – № 5 (38). – С. 45-53.
2. Белозеров А.А., Бондарь М.М., Родионов А.А. Об использовании высокоточного измерительного оборудования и численных методов в технологических процессах изготовления корпусных конструкций // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – № S1. – С. 76-81. – DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-S-I-76-81
3. Овчинников В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В.

- Овчинников. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.
4. Черепяхин А.А. Технология конструкционных материалов. Сварочное производство: учеб. для вузов / А.А. Черепяхин, В.М. Виноградов, Н.Ф. Шпунькин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 269 с.
 5. Катаев Р.Ф. Теория и технология контактной сварки: учеб. пособие / Р.Ф. Катаев, В.С. Милютин, М.Г. Близник. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 144 с.
 6. Васильев В.И. Введение в основы сварки: учеб. пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.
 7. Технология и оборудование сварки: лабор. практик. / М.С. Корытов, В.В. Акимов, В.В. Евстифеев, А.Ф. Мишуров. – Омск: СибАДИ, 2019. – 53 с.
 8. Назаров С.В. Некоторые методы уменьшения деформации при сварке крупногабаритных конструкций из стали 09Г2С // Решетневские чтения. – 2017. – № 21-1. – С. 525-526.
 9. Джумагазиева Ш.К. Снятие остаточных напряжений сварных труб // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2018. – № 19-1. – С. 5-7.
 10. Новокрещенов С.А. Пути улучшения качества сварных соединений // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 7. – С. 152-156.
 11. Волков С.С., Коновалов А.В., Шестель Л.А. Исследование возможности применения ультразвуковой обработки для снижения остаточных напряжений и деформаций в сварных соединениях // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 2. – С. 3-10. – DOI: 10.18698/0536-1044-2020-2-3-10
 12. Степанов В.В. Развитие технологии низкочастотной вибрационной обработки сварных металлических конструкций судо- и машиностроения //

Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № 2. – С. 121-125. – DOI: 10.24937/2542-2324-2021 -2-S-I-121-125

List of literature

1. Tazhibayev A.R., Tazhibayeva A.V., Bikbulatova G.I. Methods of detecting and reducing residual stresses in welded joints // Modern materials, equipment and technologies. – 2021. – № 5 (38). – Pp. 45-53.
2. Belozerov A.A., Bondar M.M., Rodionov A.A. On the use of high-precision measuring equipment and numerical methods in technological processes of manufacturing hull structures // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2019. – No. S1. – pp. 76-81. – DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-S-I-76-81
3. Ovchinnikov V.V. Defect of welds and quality control of welded joints: textbook. for students. institutions sred. Prof. education / V.V. Ovchinnikov. – 3rd ed., ster. – M.: Publishing Center "Academy", 2017. – 224 p.
4. Cherepakhin A.A. Technology of structural materials. Welding production: studies. for universities / A.A. Cherepakhin, V.M. Vinogradov, N.F. Shpunkin. – 2nd ed., ispr. and additional. – M.: Publishing House Yurayt, 2022. – 269 p.
5. Kataev R.F. Theory and technology of contact welding: textbook. manual / R.F. Kataev, V.S. Milyutin, M.G. Bliznik. – Yekaterinburg: Ural Publishing House. un-ta, 2015. – 144 p.
6. Vasiliev V.I. Introduction to the basics of welding: textbook. manual / V.I. Vasiliev, D.P. Ilyashenko, N.V. Pavlov; Yurginsky Technological Institute. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2011. – 317 p.
7. Welding technology and equipment: laboratory. practice / M.S. Korytov, V.V. Akimov, V.V. Evstifeev, A.F. Mishurov. – Omsk: SibADI, 2019. – 53 p.
8. Nazarov S.V. Some methods of reducing deformation during welding of large-sized structures made of steel 09G2S // Reshetnev readings. – 2017. – No. 21-1. – pp. 525-526.
9. Dzhumagazieva Sh.K. Removal of residual stresses of welded pipes // Norwegian Journal of Development of the International Science. – 2018. – No. 19-1. – pp. 5-7.

10. Novokreschenov S.A. Ways to improve the quality of welded joints // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2018. – No. 7. – pp. 152-156.
11. Volkov S.S., Konovalov A.V., Shestel L.A. Investigation of the possibility of using ultrasonic treatment to reduce residual stresses and deformations in welded joints // Izvestiya higher educational institutions. Mechanical engineering. – 2020. – No. 2. – pp. 3-10. – DOI: 10.18698/0536-1044-2020-2-3-10
12. Stepanov V.V. Development of technology of low-frequency vibration processing of welded metal structures of shipbuilding and mechanical engineering // Proceedings of the Krylov State Scientific Center. – 2021. – No. 2. – PP. 121-125. – DOI: 10.24937/2542-2324-2021 -2- S-I-121-125

© Абуладзе Л.К., 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник»
№07/2022

Для цитирования: Абуладзе Л.К. СВАРОЧНАЯ УСАДКА, МЕРЫ БОРЬБЫ С УСАДКОЙ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник»
№07/2022