

крупные светлые образования глубиной 40...100 мкм. Структурные изменения в поверхностном слое по результатам предварительного оценивания создают дополнительные препятствия для перемещения дислокаций в поверхностном слое, и как следствие, препятствуют пластическому деформированию на поверхности деталей. Такое структурное состояние создает благоприятные условия для дальнейшего упрочнения в комплексе с другими методами обработки.

Заключение

Проведенное исследование метода упрочнения поверхностного слоя специализированных деталей, изготовленных из доэвтектоидной стали, способствовало выявлению наиболее рациональных режимов магнитно-импульсной обработки и, в перспективе, применения этого вида упрочнения для комплексной обработки совместно с другими высокоэнергетическими методами, при схожем протекании фазовых изменений в поверхностной структуре материала. Несмотря на незначительное повышение числа микротвердости (при магнитно-импульсной обработке – 12...14 %), от значения 425 HV до значения 535 HV, для деталей, выполненных из стали 40X, показатели структуры поверхностного слоя подтверждают возможность значительного улучшения прочностных характеристик материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алифанов А. В., Горецкий Г. П., Милюкова А. М., Лях А. А., Шишмолин В.Н. Исследование влияния режимов магнитно-импульсной обработки на микротвердость и микроструктуру образцов сталей, применяемых для изготовления рубильных ножей / А. В. Алифанов [и др.] // Вестник Барановичского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 1. – с. 12.
2. Калугин, Ю. К. Сравнительный анализ методов поверхностного упрочнения деталей ткацких станков / Ю. К. Калугин, Б. А. Бакулин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017. – № 4(106): Машиностроение. – С. 24–27.
3. Глуценков В. А. Технология магнитно-импульсной обработки материалов: монография / В. А. Глуценков, В. Ф. Карпухин – Самара : Изд. дом «Федоров», 2014. – 208 с.

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ СТРУЙНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГАЗООБРАЗНОЙ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ОБЛАСТИ СВАРНОГО ШВА И ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СВАРКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

*Лецик С. Д., Лежава А. Г., Исаков С. А., Жуковский В. Е.
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь*

Введение

Требования к металлическим элементам конструкции современной техники по показателям надежности постоянно возрастают. Так, например, машины и механизмы в сфере транспорта должны удовлетворять нагрузочно-скоростным

режимам эксплуатации, в добывающей отрасли – обеспечивать высокую производительность при безотказной работе и т. д. Зачастую отказы в работе техники происходит из-за выхода из строя различных видов соединений элементов конструкции. Сварные соединения являются одним из наиболее распространенных видов неразъемных соединений, используемых во всех видах техники. Сварка имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами соединений: обеспечивает высокую технологичность при изготовлении и ремонте изделий, а также снижение массы конструкции, дает возможность соединять разнообразные по форме детали, является герметичным соединением. В то же время сварные соединения имеют и недостатки. Например, при сваривании деталей возникают остаточные деформации, появляются внутренние напряжения, а также могут образовываться трещины. Кроме того, при удовлетворительной статической прочности сварные соединения зачастую хуже работают при динамических и циклических нагрузках. В процессе остывания сварного шва и зоны термического влияния может формироваться структура металла, которая не является оптимальной для достижения максимальной прочности и циклической долговечности. Для улучшения прочностных характеристик сварные соединения подвергают поверхностно-пластическому деформированию (дробеструйная обработка, обкатка роликами) [1], ультразвуковой ударной обработке [2]. Так, например, по результатам исследований ряда авторов [2] установлено, что ударная ультразвуковая обработка стальных сварных соединений приводит к изменению структурно-фазового состояния приповерхностного слоя в области сварного шва и зоны термического влияния (ЗТВ), что приводит к росту усталостной прочности соединения. Другим технологическим способом, позволяющим управлять структурой и характеристиками сварного соединения, является оптимизация теплового режима [3, 4] в процессе сварки. В работе [3] отмечается, что с целью предотвращения трещин и разрывов, связанных с возникновением остаточных напряжений и деформаций при сварке встык жестко закрепленных деталей, целесообразно применять пониженные тепловые режимы. Результаты исследования влияния периодического охлаждения на формирование структуры сварных соединений, изложенные в работе [4], показывают перспективность такого подхода в управлении кинетикой протекания структурных превращений в материале сварного соединения.

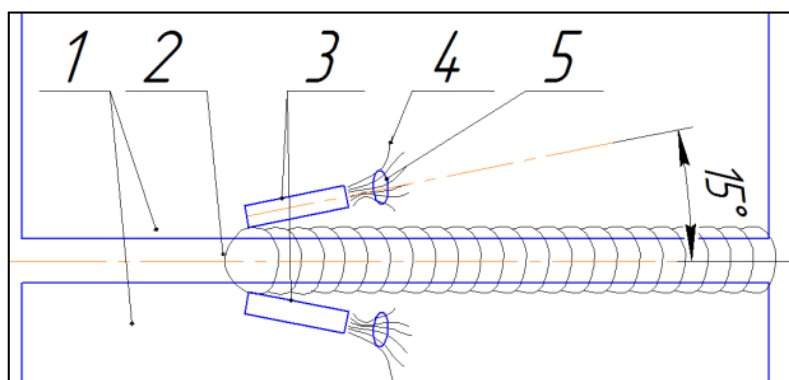
Задача, решаемая в настоящей работе: исследовать влияние на характеристики сварного соединения газодинамического воздействия охлаждающей среды на сварной шов и зону термического влияния в процессе сварки. Объект исследования – стыковые сварные соединения из стальных деталей.

Материалы и методика эксперимента

Для практической реализации метода модификации структуры и свойств сварных соединений путем струйного воздействия охлаждающей среды на сварной шов и зону термического влияния была разработана и собрана экспериментальная установка, описанная ранее в [5]. Установка представляет автоматическое устройство для дуговой сварки и обеспечивает выполнение механизмами следующих операций, возбуждение дуги в начале сварки; поддержание дугового процесса; подачу сварочных материалов в зону дуги по мере их оплавления; относительное перемещение дуги вдоль линии сварного соедине-

ния путем перемещения сварочной головки; подачу защитного и охлаждающего газа; прекращение процесса сварки.

Экспериментальные исследования проводили на образцах из стали 08КП, полученных свариванием 2-х пластин механизированной однопроводной сваркой в среде защитного газа (сварочная смесь) и при струйном воздействии охлаждающего газа (аргон либо углекислый газ) на сформировавшийся сварной шов и зону термического влияния. Использовали схему из двух подающих охлаждающий газ сопел, расположенных симметрично по разные стороны шва (рисунок 1). Применяли сварочную проволоку СВ08Г2С диаметром 1,2 мм. Напряжение и сила тока при сварке 24 В и 200 А соответственно. Предварительный подогрев заготовок и последующую термообработку образцов не производили. Управляемые параметры варьировали на 2-х уровнях (таблица 1).

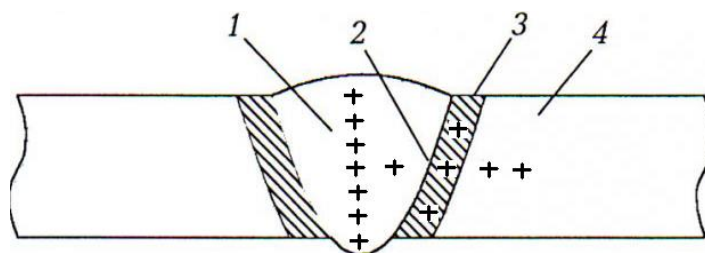


1 – свариваемые детали; 2 – сварной шов; 3 – сопла;
4 – распространение охлаждающего газа;
5 – зона контакта охлаждающего газа с основным металлом
Рисунок 1 – Схема установки сопел (вид сверху)

Таблица 1 – Матрица планирования полного факторного эксперимента

Изменяемый параметр	Номер серии экспериментов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Охлаждающий газ	Ar	CO ₂	Ar	CO ₂	Ar	CO ₂	Ar	CO ₂
Расход охлаждающего газа, л/мин	15	15	20	20	15	15	20	20
Диаметр сопла, мм	0,8	0,8	0,8	0,8	2,0	2,0	2,0	2,0

Измерение микротвердости образцов производили на микротвердомере ПМТ-3. Схема сварного шва и точки измерения микротвердости приведены на рисунке 2.



1 – сварной шов, 2 – зона сплавления,
3 – зона термического влияния, 4 – основной металл
Рисунок 2 – Схема сварного шва и точки измерения микротвердости (+)

Оценку угловых сварочных деформаций проводили на основе результатов измерения угла β по схеме, приведенной на рисунке 3.

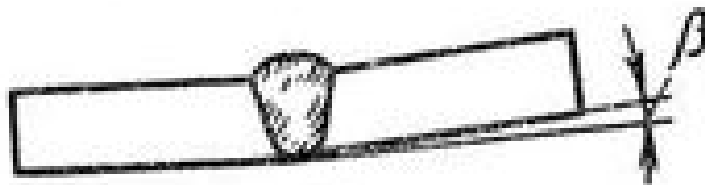


Рисунок 3 – Схема измерения угловых сварочных деформаций

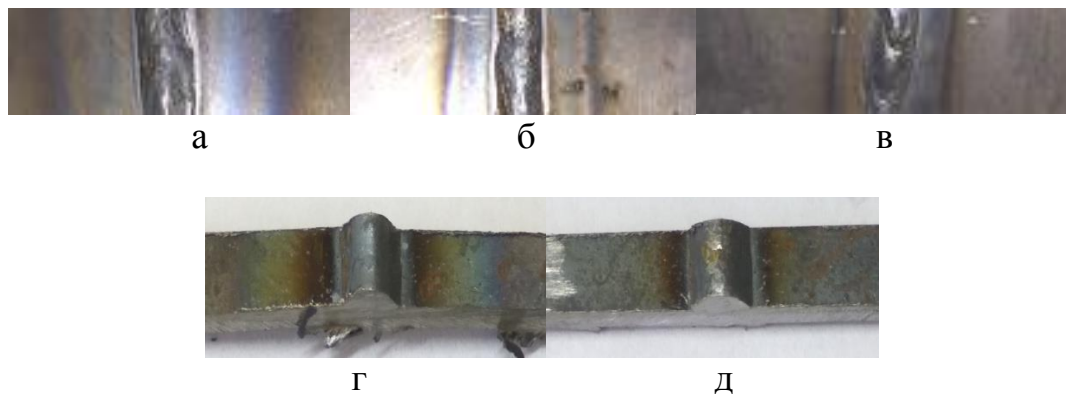
Результаты и их обсуждение

Результаты измерений угловых сварочных деформаций показали, что угол β (согласно схеме на рисунке 3) для образцов, полученных сваркой без струйного воздействия газообразной охлаждающей среды, составляет в среднем 4° , при сварке с использованием для охлаждения аргона – около 3° , а при использовании углекислого газа – не превышает 2° .

Микротвердость по сечению образцов, полученных сваркой при описанных выше условиях без использования охлаждающего газа, почти не меняется и близка к значению этого показателя у основного металла. Анализ результатов измерения микротвердости в сечении сварных соединений, полученных из стали 08КП в режиме газодинамического охлаждения, показал следующее. Наибольшее значение микротвердости наблюдается в зоне термического влияния. Наблюдается рост до 7 %. При этом на максимальное значение микротвердости оказывают влияние технологические параметры процесса сварки, а именно диаметр сопла, подающего охлаждающий газ, вид и расход охлаждающего газа. Установлено, что факторы, способствующие возрастанию скорости охлаждения металла приводят к росту максимальных значений микротвердости по сечению образца. Выявлено, что при использовании углекислого газа достигается большее значение микротвердости, чем при использовании аргона. Это можно объяснить большей теплоемкостью углекислого газа, дающей возможность эффективнее охладить металл. Увеличение расхода охлаждающего газа с 15 до 20 л/мин также приводит к увеличению максимальных значений микротвердости. При постоянном же расходе охлаждающего газа увеличение скорости охлаждения и, соответственно, микротвердости обеспечивается ростом скорости движения газа за счет уменьшения диаметра сопла.

Изображения образцов, полученных в результате сварки закрепленных стальных пластин встык при различных режимах охлаждения углекислым газом и аргоном, а также без охлаждения, представлены на рисунке 4, где видно, что динамическое воздействие струи охлаждающего газа оказывает влияние на размеры ЗТВ сварного шва. Установлено, что при использовании сопел диаметром 0,8 мм и 2 мм и одинаковом расходе газа в единицу времени, ширина видимой зоны термического влияния уменьшается в 2–2,3 раза и 2,2–2,5 раза, соответственно, по сравнению со сваркой без охлаждения. Как можно видеть при изменении диаметра сопел более чем в 2 раза, ширина ЗТВ уменьшается незначительно. Предположительно охлаждающая способность сопел диаметром, равным 2 мм, может быть больше, т. к. увеличивается площадь контакта

потока охлаждающего газа с охлаждаемой поверхностью. В то же время достаточно высокую эффективность воздействия охлаждающего газа при использовании сопел диаметрами 0,8 мм можно объяснить тем, что при их использовании за счет увеличения скорости истечения образуется турбулентный поток газа, активно охлаждающий сварной шов и прилегающий к нему материал.



а – без охлаждающего газа; б, в, д – охлаждение углекислым газом; б, – охлаждение аргоном; а, б, г, д – диаметр подающего охлаждающий газ сопла 0,8 мм; в – диаметр сопла 2 мм

Рисунок 4 – Изображения сварного шва и зоны термического влияния для различных условий сварки

Оценка размеров зоны термического влияния в зависимости от используемого охлаждающего газа показала, что при использовании углекислого газа зона термического влияния на 35–40 % меньше, чем при использовании аргона. Это может быть обусловлено большей удельной теплоемкостью углекислого газа и, соответственно, большей охлаждающей способностью.

Увеличение расхода охлаждающего газа с 15 до 20 л/мин во всех случаях приводит к уменьшению размеров зоны термического влияния.

Заключение

Практически реализован способ получения сварных соединений методом механизированной однопроходной электродуговой полуавтоматической сварки в среде защитного газа с последующим газодинамическим охлаждением сварного шва и зоны термического влияния аргоном либо углекислым газом. Результаты исследований микротвердости, угловых деформаций и размеров зоны термического влияния позволяют сделать вывод о том, что струйное воздействие охлаждающей газовой среды на сварной шов и зону термического влияния в процессе сварки может рассматриваться как инструмент управления эксплуатационными характеристиками сварного соединения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патон, Б. Е. О повышении несущей способности и долговечности сварных соединений / Б. Е. Патон, В. И. Труфьяков // Автоматическая сварка. – 1982. – № 2. – С. 1–6.

2. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 / В. Е. Панин [и др.] // Физическая мезомеханика – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 85–96.

3. Сальманов, И. Д. Остаточные напряжения и деформации при сварке / И. Д. Сальманов, М. Ю. Барановский, В. А. Тарасов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 12. – С. 64–75.

4. Савицкий, А.М. Влияние скорости сварки и длительности периодического охлаждения на формирование структуры сварных соединений закаливаемых сталей при дуговой сварке с термоциклированием / А. М. Савицкий, М. М. Савицкий, Д. П. Новикова // Автоматическая сварка. – 2004. – № 8. – С. 41–45.

5. Разработка конструктивно-технологической схемы установки для получения сварных соединений с использованием струйного воздействия охлаждающей среды на сварной шов и зону термического влияния / С. Д. Лещик [и др.] // Актуальные проблемы науки и техники: материалы I Международной научно-технической конференции, Сарапул, 20–22 мая 2021 г.: СПИ (филиал) ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»; под общ ред. Г. В. Миловзорова. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – С. 135–138.

УДК 621.357+537.528

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ С ДОБАВКОЙ НАНОЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТВЕРДОФАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лещик С. Д., Калугин Ю. К., Лещик М. С.

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы Гродно,
Республика Беларусь*

Введение

Стандартные электролиты хромирования на основе шестивалентных соединений хрома в настоящее время хорошо изучены и широко применяются. Однако процесс хромирования и электролиты хромирования имеют ряд существенных недостатков: низкий выход хрома по току; небольшая скорость отложения осадков; большая энергоемкость процесса; высокая катодная плотность тока; высокая агрессивность электролита; большое количество ядовитых выделений, образующихся при электролизе; низкая кроющая способность электролита; низкая рассеивающая способность электролита, выражающаяся в низкой степени равномерности распределения выделяемого на катоде металла по его поверхности. В связи с этим модификация электролитов, направленная на уменьшение указанных недостатков, весьма актуальна. Так, например, повышение рассеивающей способности электролита позволяет получать более равномерные покрытия по толщине, что дает возможность наносить меньший слой хрома перед окончательной шлифовкой поверхности. Выгода очевидна: снижение затрат на энергоемкий процесс хромирования (требуемая толщина хрома меньше) и снижение затрат на шлифование весьма твердого покрытия (припуск на шлифование меньше). Одним из способов решения задачи по улучшению характеристик электролитов, процесса хромирования и самих покрытий из гальванического хрома является добавление ультрадисперсных добавок непо-