

Усталостные свойства усовершенствованной высокопрочной стальной пластины, сваренной гибридной плазменной дуговой сваркой

М.В. Поклонская

Донской государственный технический университет

Аннотация: В этой статье рассматривается технология НРАW при сварке АНSS в обрабатывающей промышленности. Исследована усталостная долговечность сварных соединений с использованием этих двух методов. Кроме того, чтобы выяснить разницу в усталостной долговечности, проводится анализ как под оптическим микроскопом, так и под электронным микроскопом.

Ключевые слова: высокопрочная сталь, гибридная плазменно-дуговая сварка, газовая дуговая сварка металла, усталость, остаточные напряжения.

Введение

АНSS широко используются в современных отраслях промышленности, таких как автомобильная промышленность, строительное машиностроение, морское машиностроение и т.д. Однако из-за их более высокого значения углеродного эквивалента, обычный GMAW из АНSS сложнее, чем из обычных низкоуглеродистых сталей. Таким образом, необходим новый метод соединения, который позволяет сваривать АНSS с более высокой эффективностью и без предварительного/последующего нагрева.

Поскольку гибридная плазменно-дуговая сварка (РАW) была впервые внедрена в 2005 году, этому новому методу сварки уделяется значительное внимание. По сравнению с лазерно-дуговой гибридной сваркой НРАW отличается меньшей стоимостью, более высоким допуском зазора и лучшей способностью к соединению. По сравнению с GMAW, РАW обеспечивает более глубокое проникновение при сварке, более высокую скорость сварки и меньшую деформацию [1].

Описание исследования

Получена усовершенствованная высокопрочная стальная пластина Q500D толщиной 12 мм и разделена на секции размером 800×150 мм. Химические составы сварочной проволоки Q500D и ER50-6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химические составы сварочной проволоки Q500D и ER50-6 (мас. %)

Сплав	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
Q500D	0.11	0.30	1.60	0.02	0.015	0.15	0.2	Bal
ER50-6	0.07666	1.02	1.73	0.011	0.018	0.057	0.012	Bal

Пластины соединяли методами НРАW и GMAW в плоском положении (1Г/ПА). Основные параметры сварки приведены в таблице 2. Из-за большого тепловыделения и низкой скорости сварки GMAW для заполнения канавки требуется три прохода. Для сравнения, зазор между сварными швами был заполнен всего за один проход [2].

Таблица 2 – Сварочные параметры процесса сварки Q500D

GMAW	И1/У1(опорный сварной шов)	И2/У2 (задний уплотнительный шов)	И3/У3(косметический сварной шов)	Скорость сварки	Температура предварительного нагрева
	150 А/22V	150А/22V	250А/27V	$300\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	100~120°C
НРАW	Плазменный ток I_p	Максимальный ток I_m	Максимальное напряжение U_m	Скорость сварки	Температура предварительного нагрева
	270/А	430А	28V	$600\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	-

На рисунке 1 показан схематический чертеж НРАW. В этих экспериментах использовалась сварочная проволока ER50-6 диаметром 1,2 мм. И плазменная горелка, и горелка MAG выровнены по направлению сварки, и первая представляет собой плазменную дугу. Кроме того, гибридный тип плазмы и MAG является параксиальным. Плазменная дуга

сжимается аргоном с чистотой 99,99%, льющимся из плазмотрона со скоростью потока 6 л/мин. Ванна с расплавом была защищена 80%-ным аргоном-20%-ным CO₂ при скорости потока 15 л/мин. Расстояние между магнитной дугой и плазменной дугой составляет 4 мм[3].

Чтобы получить усталостную долговечность сварных соединений, пластины были разрезаны на стандартные образцы в соответствии с GB/T 13816- 1992. Усталостная долговечность сварных соединений измеряется с помощью высокочастотной машины для испытания на усталость QBG-400 со статической нагрузкой -400 ~ + 400 Кн, динамической нагрузкой 0 ~ 200 Кн и частотой испытаний 60 ~ 300 Гц. Образец зажимается вместе с осевым направлением, и в этой статье прикладывается напряжение 340 МПа. Когда возникает трещина, испытание на усталостную долговечность завершается. Однако, чтобы выяснить причину, образец с усталостной трещиной зажимают с напряжением 170 МПа до тех пор, пока образец не развалится на части. Кроме того, образец с поверхностью разрушения разрезают с размером 60 мм × 40 мм × 12 мм, и поверхность разрушения наблюдают с помощью оптического микроскопа и электронного микроскопа, чтобы получить механизм разрушения [4].

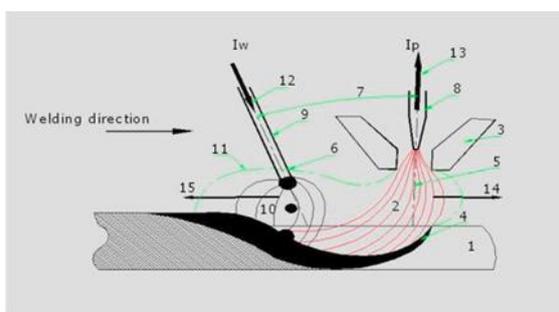


Рисунок 1 – Система HPAW SuperMIG, запатентованная Weldobot, использовалась для сварки замочных скважин [3].

Как показано в таблице 3, измеряется усталостная долговечность сварных соединений с помощью PAW и MAW. Из табл. 3 видно, что при тех же геометрических размерах и том же напряжении 340 МПа средняя усталостная долговечность сварного соединения НРАW с 260,16 тыс. на 57,62% больше, чем у GMAW с 165,06 тыс. Кроме того, максимальный усталостный ресурс образца G-3 с GMAW составляет 210,5 тыс., что меньше минимального усталостного ресурса образца Н-3, который составляет 223,2 тыс. То есть все значения усталостной долговечности у НРА выше, чем у GMAW. Согласно ссылке [2], можно получить, что в 95% доверительном интервале усталостная долговечность сварных соединений с НРАW увеличилась с 30,28% до 93,78%, чем у GMAW [5-7].

Таблица 3 – Экспериментальные результаты испытаний на усталостную долговечность

Способ сварки	Номер образца	Усталостный ресурс (N)/кС	Время испытания/мин	LgN	Средняя усталостная долговечность/кС
GMAW	G-1	158.9	28	5.2011	165.06
	G-2	173.2	31	5.2385	
	G-3	210.5	39	5.3233	
	G-4	145.8	25	5.1638	
	G-5	136.9	22	5.1364	
НРАW	Н-1	253.9	45	5.4047	260.16
	Н-2	272.8	54	5.4358	
	Н-3	223.2	42	5.3487	
	Н-4	286.2	58	5.4567	
	Н-5	264.7	51	5.4228	

Чтобы выяснить, как возникает и растет усталостная трещина, поверхность разрушения наблюдают с помощью электронного микроскопа, который показан на рис. 2. На рис. 2 (a1) и (b1) показана поверхность усталостной деформации сварных соединений GMAW и НРАW, а на рис. 2 (a2) и (b2) показан частично увеличенный вид (a1) и (b1). Причины того, что усталостная долговечность сварных соединений с НРАW больше, чем у GMAW, можно заключить следующим образом. Прежде всего, соотношение

места возникновения трещины (показано красной пунктирной линией), области расширения трещины (показано желтой пунктирной линией) и области разрыва (другие части) отличается при разных способах сварки. И доля площади разрыва с GMAW больше, чем у НРАW, что приводит к тому, что скорость распространения трещин в сварных соединениях с GMAW больше, чем у НРАW. Следовательно, образец сварного соединения с GMAW подвержен разрушению [8]. Во-вторых, происхождение трещин в сварном соединении с GMAW – это почти сварочный шов, а у НРАW – почти основной металл. Иными словами, при том же напряжении в 340 МПа сварное соединение GMAW из-за большей концентрации напряжений в сварочном носке легче поддается обработке по сравнению с соединениями НРАW. И последнее, но не менее важное: как показано на рис. 2 (a1), образец GMAW имеет три источника трещин, но образец, показанный на рис. 2 (b1) НРАW, имеет только одно происхождение трещин [9-10].

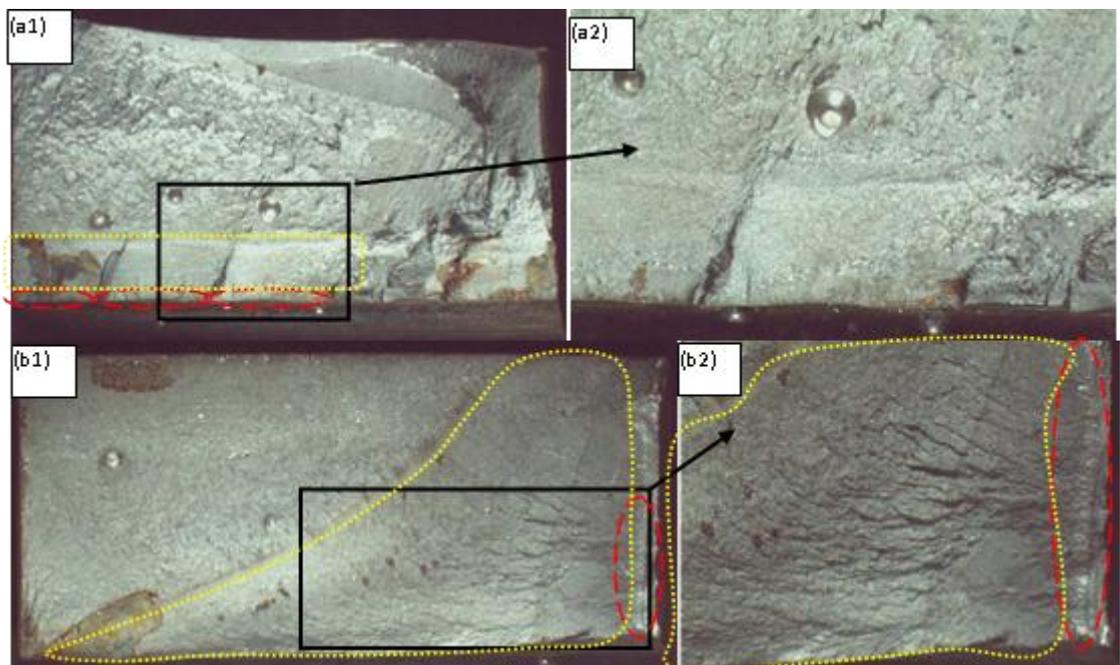


Рисунок 2. – Поверхность усталостного разрушения сварных соединений с (а) GMAW и (б) НРАW [3]

Заключение

Исходя из результатов эксперимента и обсуждений, можно сделать следующие выводы:

1. Высокопрочная сталь может быть сварена с помощью GMAW и PAW. По сравнению с GMAW усталостная долговечность HPAW может увеличиться на 62,7%. И в 95% доверительном интервале усталостная долговечность сварных соединений с HPAW увеличилась с 30,28% до 93,78% по сравнению с GMAW. Кроме того, армирование HPAW ниже, а сварной шов более гладкий.

2. Из-за различной пропорции происхождения трещины, области расширения трещины и области разрыва, а также различного положения происхождения трещины усталостный срок службы сварного соединения с HPAW больше, чем у GMAW.

Литература

1. Соснин Н.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии: Руководство для инженеров. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. – 406 с.
2. Николаев Г.А. Сварка в машиностроении –Машиностроение, 1978. – 21 с.
3. Патон Б.Е., Гвоздецкий В.С., Дудко Д.А. Микроплазменная сварка – Наукова Думка, 1979. – 215 с.
4. Коротеев А.С., Миронов В.М., Свирчук Ю.С. Плазменная сварка. Плазмотроны – Машиностроение, 1993. – 124 с.
5. Овчинников В. В., Гуреева М. А. Технология дуговой и плазменной сварки и резки металлов. Учебник – Инфра-Инженерия, 2021. – 34 с.
6. Щицын Ю.Д., Белинин Д.С., Кучев П.С., Неулыбин С.Д., Гилев И.А. Плазменная сварка по отбортовке тонкостенных соединений – Вестник

- Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение, 2014. – с.34-37.
7. Карнаухов И.С., Жданов А.В. Гибридная технология лазерной сварки - лазерно-плазменная сварка – Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2019. – с. 23-28.
 8. Гирфанов Н.Э., Галимова М.П. Сравнение лазерной и плазменной сварки по экономическим показателям – Современные материалы, техника и технологии, 2017. – с.58-61.
 9. Баженов А.М., Панов А.И., Гилев И.А. Плазменная сварка алюминиевых сплавов малых толщин – Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение, 2015. – с.118-124.
 10. Стельников И.В., Коновалов А.В. Определение оптимальной геометрии вольфрамового электрода при точечной сварке сжатой дугой – Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2011. – с.92-97.

References

1. Sosnin N.A., Topolyanskij P.A. Plazmennyye tekhnologii: Rukovodstvo dlya inzhenerov [Plasma Technologies: A Guide for Engineers]. SPb.: Izd-vo Politeknicheskogo un-ta, 2013. P. 406.
2. Nikolaev G.A. Svarka v mashinostroenii [Welding in mechanical engineering] M.: Mashinostroenie, 1978. P. 21.
3. Paton B.E., Gvozdeczkij V.S., Dudko D.A. Mikroplazmennaya svarka [Microplasma welding]. Naukova Dumka, 1979. P. 215.
4. Koroteev A.S., Mironov V.M., Svirchuk Yu.S. Plazmennaya svarka. Plazmotrony [Plasma welding. Plasmatrons]. Mashinostroenie, 1993. P. 124.



5. Ovchinnikov V. V., Gureeva M. A. *Texnologiya dugovoj i plazmennoj svarki i rezki metallov. Uchebnik [Technology of arc and plasma welding and cutting of metals]. Infra-Inzheneriya, 2021. P. 34.*
6. Shhicyn Yu.D., Belinin D.S., Kuchev P.S., Neuly`bin S.D., Gilev I.A. *Vestnik Permskogo nacional`nogo issledovatel`skogo politexnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie, 2014. pp. 34-37.*
7. Karnauxov I.S., Zhdanov A.V. *Aktual`ny`e problemy` aviacii i kosmonavtiki, 2019. pp. 23-28.*
8. Girfanov N.E`, Galimova M.P. *Sovremenny`e materialy`, texnika i texnologii, 2017. pp. 58-61.*
9. Bazhenov A.M., Panov A.I., Gilev I.A. *Vestnik Permskogo nacional`nogo issledovatel`skogo politexnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie, 2015. pp. 118-124.*
10. Stel`nikov I.V., Konovalov A.V. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Mashinostroenie, 2011. pp. 92-97.*