

УДК 621.791.9

Применение технологии электродуговой наплавки при печати изделий из низколегированных высокопрочных сталей

Бубников Семен Николаевич

bubnikov_sn@spbstu.ru

Кладов Иван Владимирович

kladov_iv@spbstu.ru

Чолокиди Маргарита Александровна

cholokidi_ma@spbstu.ru

Новоселов Артем Дмитриевич

novoselov_ad@spbstu.ru

СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Исследована макро- и микроструктура наплавленного металла образцов, полученных при выращивании из проволок низколегированных высокопрочных сталей, оценена твердость и микротвердость наплавленного металла, произведены испытания на износостойкость наплавленного металла и сравнение полученных результатов с износостойкостью материала изделия, изготовленного традиционным способом, а также проведены испытания выращенных изделий в условиях, приближенных к эксплуатационным. В итоге проведенных исследований получены положительные результаты, показывающие перспективность и превосходство метода электродуговой наплавки для производства изделий из низколегированных высокопрочных сталей.

Ключевые слова: низколегированные высокопрочные стали, электродуговая наплавка, микроструктура наплавленного металла, износостойкость, пористость

Введение. Электродуговая наплавка является развивающейся технологией в современном производстве. В отличие от других технологий аддитивного производства, электродуговая наплавка использует электрическую дугу в качестве источника тепла для послойной наплавки металлического материала, из которого получается конечная деталь [1].

По сравнению с традиционным методом производства, при электродуговой наплавке возможно сокращение времени изготовления на 40–60 % в зависимости от размера детали. Теоретически, металлы с хорошей свариваемостью могут быть потенциально использованы для электродуговой наплавки, и до сих пор исследователи успешно изготавливали 3D-объекты из сплавов на основе титана, алюминия, стали и никеля [2].

Методы и материалы; результаты. При наплавке и сварке низколегированных высокопрочных сталей одной из ключевых проблем является появление пор, что связано со следующими факторами:

- недостаточное содержание кремния и марганца в присадочном материале [3];
- взаимодействие расплавленного металла с азотом и водородом [3, 4];
- бурное выделение окиси углерода в процессе кристаллизации [5].

В целях предотвращения порообразования металла при наплавке изготовлены и исследованы два геометрически подобных образца с добавлением 2 и 8 % углекислоты в защитную газовую атмосферу.

Углекислота обладает в условиях сварки восстановительными свойствами по отношению к окислам железа и большинству легирующих компонентов, а также может приводить к эффекту науглероживания. Благоприятное действие выделения окиси углерода из сварочной ванны при высоких температурах заключается в том, что из жидкого металла сварочной ванны вместе с пузырьками окиси углерода удаляются азот и водород [3–6].

Для электродуговой наплавки характерна необычная структура материала по сравнению с традиционными методами производства, ввиду наличия многократного повторного нагрева и охлаждения изделия в процессе наплавки. Данное обстоятельство оказывает существенное влияние на свойства конечного изделия, если оно изготавливается из термообрабатываемого материала, к которым относятся низколегированные высокопрочные стали. Микроструктура образца, наплавленного из проволоки Св-08ХГСМФА, после выращивания представляет из себя смесь гранулярного бейнита и феррита. Микроструктура литого материала, подвергнутого термообработке, состоит из реечного мартенсита с областями мартенсита отпуска.

Несмотря на существенные различия в микроструктуре наплавленного металла и литого материала после термообработки результаты испытания на износостойкость показывают незначительное уменьшение (1,85 %) относительной износостойкости (см. таблицу).

Результаты испытаний на износостойкость

Материал	Вес образца до испытаний, г	Вес образца после испытаний, г	Среднее значение потерь массы, г	Относительная износостойкость
Литой после т/о	22,528	22,461	0,070667	1,06931
	22,405	22,328		
	22,418	22,350		
Наплавка Св-08ХГСМФА	15,545	15,475	0,072000	1,04950
	17,910	17,848		
	15,965	15,881		

Закключение. Сложная термическая история при производстве изделий методом электродуговой наплавки позволяет получить необычную конечную микроструктуру материала. Результаты работы показывают, что изделие, полученное методом электродуговой наплавки, имеет эксплуатационные свойства, сравнительные со свойствами литого термообработанного материала. Этот факт свидетельствует об эффективности электродуговой наплавки при производстве изделий из низколегированных высокопрочных сталей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Xia C. A review on wire arc additive manufacturing: Monitoring, control and a framework of automated system. The Society of Manufacturing Engineers, 2020, no. 57, pp. 31–45.
- [2] Wanwan J. Wire Arc Additive Manufacturing of Stainless Steels: A Review. Applied Sciences, 2020, vol. 10 (5), art. no. 1563.
- [3] Заруба И.И., Касаткин Б.С., Каховский Н.И., Потапьевский А.Г. *Сварка в углекислом газе*. Киев, Государственное издательство технической литературы УССР, 1960, 224 с.
- [4] Новожилов Н.М. *Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах*. Москва, Машиностроение, 1972, 167 с.
- [5] Новожилов Н.М. *Основы металлургии дуговой сварки в газах*. Москва, Машиностроение, 1979, 231 с.
- [6] Петров Г.Л., Тумарев А.С. *Теория сварочных процессов*. Москва, Изд-во «Высшая школа», 1967, 508 с.