

УДК 621.791.793

Семенов В. М., Кассов В. Д., Иванык А. В., Литвиненко С. Н.

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СКЛОННОСТЬ МЕТАЛЛА ШВА К ОБРАЗОВАНИЮ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ**

Рост требований, предъявляемых к изделиям современной промышленности, определил дальнейшее расширение выпуска кузнечно-прессового, прокатного, роторного и других видов оборудования тяжелого машиностроения. Основным фактором роста эффективности машин является увеличение их единичной мощности [1]. С повышением мощности резко возрастают габариты и масса основных узлов и отдельных деталей создаваемых агрегатов. Изготовление крупных деталей в цельном исполнении требует поковок массой 150–200 т и слитков массой до 400 т. Производство таких слитков представляет определенные технические и технологические трудности. Одновременно с этим возникает вопрос о качестве и обеспечении надежности таких крупных заготовок, учитывая неизбежные металлургические дефекты в крупных слитках [2]. В связи с этим одним из направлений по увеличению мощности вновь создаваемых машин при сохранении или незначительном увеличении их габаритов и массы является использование более прочных конструкционных материалов и технологии электрошлаковой сварки в узкий зазор [3]. Применение сталей повышенной прочности позволяет уменьшить сечение отдельных элементов, снизить расход металла на их изготовление и обеспечить требуемый уровень свойств [4, 5]. При электрошлаковой сварке легированных сталей в околошовной зоне возможно образование метастабильных структур. Наличие таких структур приводит к снижению пластичности металла околошовной зоны, а иногда и образованию холодных трещин [6].

Цель работы – исследование влияния легирующих элементов на склонность металла шва к образованию горячих трещин при электрошлаковой сварке.

Оценку склонности металла шва к образованию горячих трещин определяли согласно методики, представленной в работе [4], путем нахождения критической скорости деформации, при которой в кристаллизующемся металле ещё не образуются трещины. Изучено влияние отдельных легирующих элементов и их комплекса на технологическую прочность шва. Легирующие элементы вводятся в шов в чистом виде (Ni), в виде пластин стали У10 (С), ферросплавов (V, S, Si), проволоки 10Х13 (Cr) и Св 10Г2 (Mn). Исследования проводятся на проволоке Св 08. Для исключения искажающегося влияния состава флюса на состав исследуемого шва сварка образцов осуществляется под пассивным флюсом (плавиковым шпатом).

Содержание углерода в металле шва изменялось в пределах 0,2–0,4 %. Установлено, что увеличение содержания углерода приводит к резкому уменьшению технологической прочности металла шва – критическая скорость деформации снижается от 16 до 8 мм/мин (рис. 1, а).

Для оценки влияния серы ее вводили в шов за счет порошка сернистого железа, который смешивался в определенных соотношениях с плавиковым шпатом. Фактическое содержание серы в металле шва колеблется от 0,02 до 0,18 %. Увеличение ее содержания до 0,06 % приводит к снижению критерия  $A$  с 16 до 9 мм/мин (рис. 1, б). Полученные результаты подтверждают имеющиеся многочисленные данные о вредном влиянии серы на технологическую прочность металла шва при сварке плавлением. Вредное влияние серы объясняется образованием легкоплавких эвтектик FeO – FeS, которые выделяются по границам столбчатых кристаллитов в процессе кристаллизации металла шва. Вредное влияние серы при ванношлаковой сварке может быть уменьшено путем связывания ее в тугоплавкие соединения (CaS, MgS).

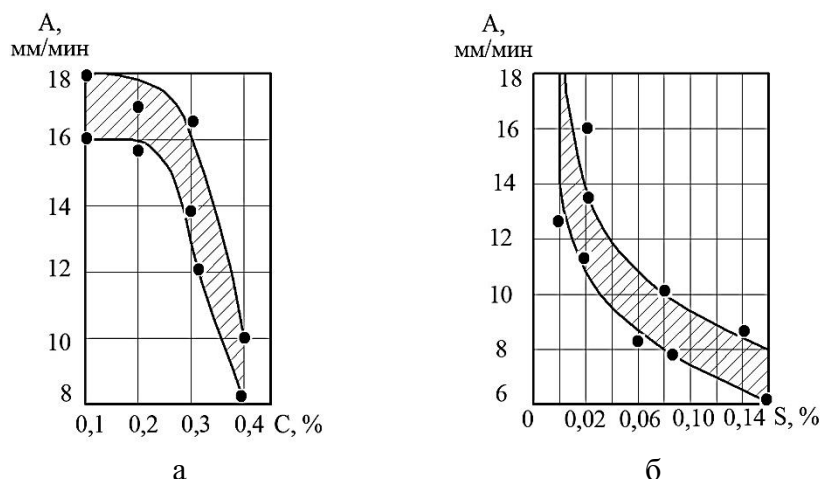


Рис. 1. Влияние углерода и серы на технологическую прочность металла шва:  
а – влияние углерода; б – влияние серы

Содержание никеля в шве изменялось в пределах от 0,4 до 4 % за счет введения порошка, который смешивался с флюсом и подсыпался в ванну в процессе сварки. В проведенных опытах никель понижал технологическую прочность металла, особенно при его содержании более 1 % (рис. 2, а). Вредное влияние никеля связано с его свойством образовывать с серой легкоплавкую эвтектику (Ni – NiS), температура плавления которой 645 °С.

Влияние кремния в пределах 0,2–1,6 % изучалось путем введения в сварочную ванну размельченного ферросилиция, смешанного с флюсом в определенных весовых соотношениях. Содержание кремния в количестве 1 % практически не влияет на технологическую прочность металла шва (рис. 2, б).

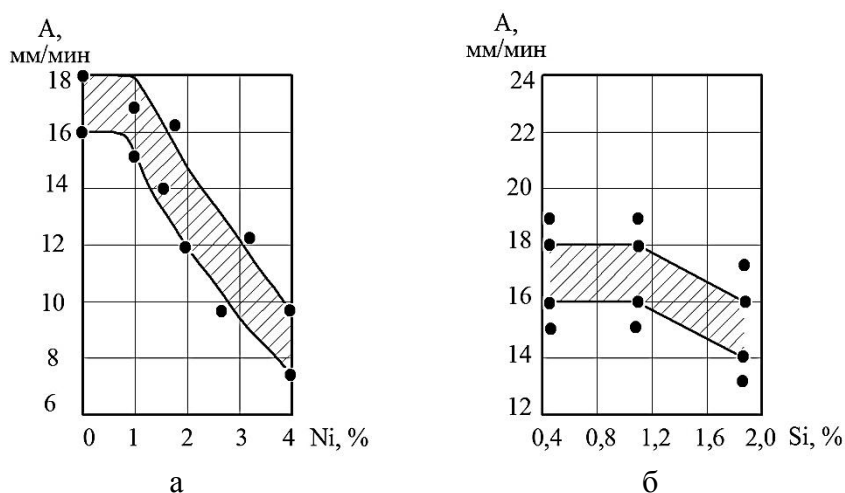


Рис. 2. Влияние никеля и кремния на технологическую прочность металла шва:  
а – влияние никеля; б – влияние кремния

Хром при содержании в шве до 4 % не оказывает влияние на технологическую прочность металла шва. Дальнейшее увеличение содержания хрома несколько снижает критическую скорость деформации (рис. 3, а).

Содержание марганца в шве изменяли в пределах от 0,83 до 1,5 % путем использования сварочной проволоки Св 10Г2. Увеличение содержания марганца от 0,5 до 1 % увеличивает критическую скорость деформации с 16 до 22 мм/мин (рис. 3, б). Положительное влияние марганца на стойкость металла шва против образования горячих трещин объясняется способностью его связывать серу в тугоплавкое соединение MnS ( $T_{плав.} = 1620$  °С).

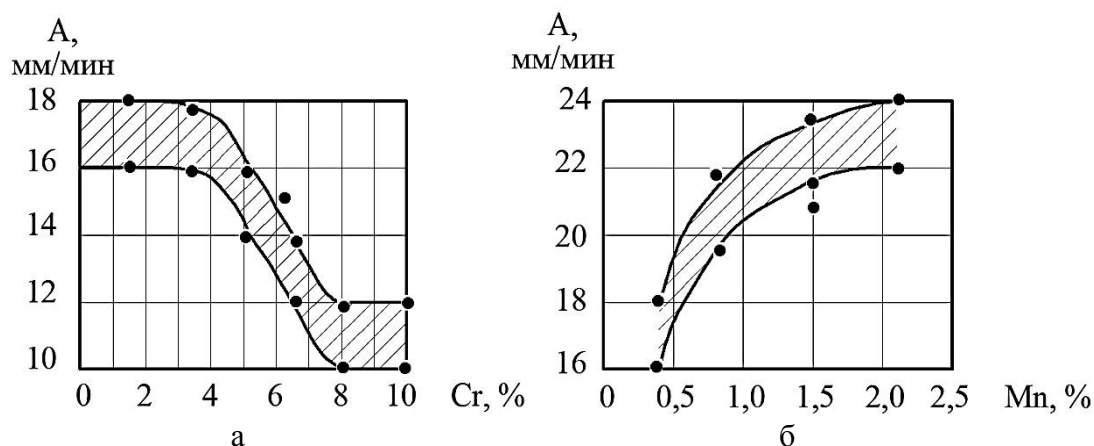


Рис. 3. Влияние хрома и марганца на технологическую прочность металла шва: а – влияние хрома; б – влияние марганца

Ванадий при содержании в шве до 0,3 % не оказывает влияния на технологическую прочность металла шва. Отсутствие вредного влияния ванадия на стойкость металла шва против образования горячих трещин связано с тем, что ванадий не образует легкоплавких эвтектик и практически не взаимодействует с серой.

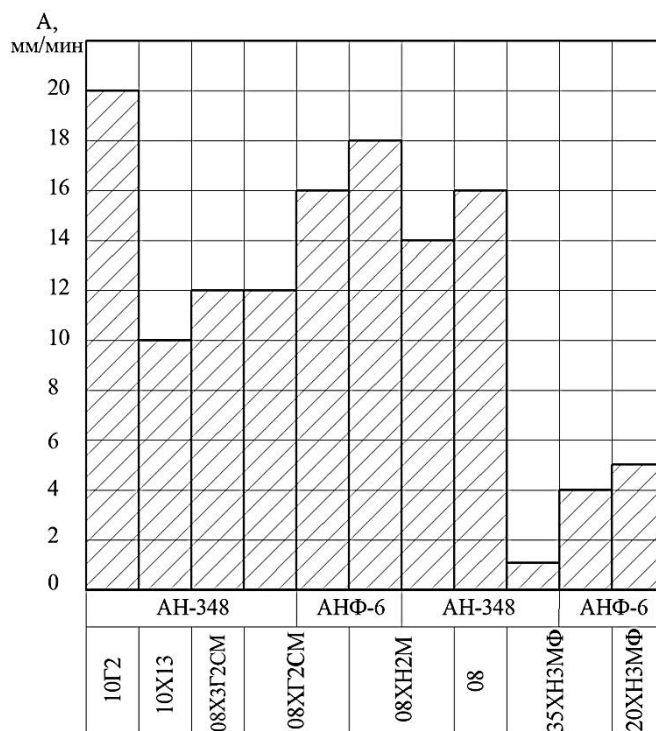
Для изучения влияния комплексного легирования на технологическую прочность металла шва были проведены опыты с определением критической скорости  $A$  на проволоках, применяемых для электрошлаковой сварки сталей повышенной прочности (Св08ХН2М, Св08ХГ2СМ, Св08ХЗГ2СМ, 20ХН3МФ) с использованием обычного кремне-марганцовистого флюса АН-348 и флюса основного типа АНФ-6. Для сравнения аналогичные опыты были проведены с использованием проволок Св08 и Св10Г2 (флюс АН-348). Химический состав металла шва приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав в % исследованных швов

Виды проволок	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Флюс
08	0,08	0,30	0,19	0,02	–	–	–	–	–	АН-348
10Г2	0,08	1,43	0,21	0,020	0,034	–	–	–	–	АН-348
08ХН2М	0,08	0,94	0,25	0,018	0,023	0,53	1,36	0,26	–	АН-348
	0,08	0,73	0,15	0,014	0,017	0,65	1,27	0,23	–	АНФ-6
08ХГ2СМ	0,08	1,62	0,73	0,018	0,030	0,74	0,14	0,44	–	АН-348
	0,09	1,39	0,80	0,016	0,017	0,93	0,15	0,50	–	АНФ-6
08ХЗГ2СМ	0,09	1,55	0,72	0,016	0,029	1,84	–	0,42	–	АН-348
35ХН3МФ	0,26	0,92	0,33	0,022	0,021	0,86	2,39	0,34	0,06	АН-348
	0,28	0,80	0,30	0,016	0,020	1,20	2,40	0,35	0,06	АНФ-6
20ХН3МФ	0,18	0,78	0,25	0,018	0,020	0,98	2,35	0,33	0,06	АНФ-6
10Х13	0,12	0,68	0,61	0,018	0,018	10,0	0,25	–	–	АН-348

На основании проведенных исследований была построена диаграмма, которая показывает значение критической скорости деформирования  $A$  металла шва для используемых видов сварочных проволок и флюса (рис. 4).

Рис. 4. Критическая скорость деформирования  $A$  металла сварного шва

### ВЫВОДЫ

Исследования показали, что введение в шов серы, углерода и никеля способствует образованию горячих трещин. Хром до 4 %, кремний до 1,0 % и ванадий до 0,6 % практически не влияют на технологическую прочность, а увеличение содержания марганца в шве от 0,5 до 1,5 % повышает критерий  $A$  с 16 до 22 мм/мин.

Критическая скорость деформации для швов, выполненных стандартными проволоками, применяемыми при электрошлаковой сварке, лежит в пределах 12–20 мм/мин и зависит от характера и степени легирования проволоки, а также марки использованного флюса. Применение флюса АНФ-6 (системы  $\text{CaF}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  позволяет существенно (от 20 до 50 %) повысить показатель  $A$  по сравнению со швами, выполненными под кремнемарганцовистым флюсом АН-348.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыжков Н. И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении / Н. И. Рыжков. – М. : Машиностроение, 1970. – 382 с.
2. Решение проблемы производства сверхкрупных сварных деталей в тяжелом машиностроении / В. В. Черных, В. А. Винокуров, Л. П. Ерегин, И. И. Сузук-Слесаренко // Автоматическая сварка. – 1989. – № 7. – С. 53–55.
3. Власов А. Ф. Повышение производительности электрошлаковых процессов [Электронный ресурс] / А. Ф. Власов, А. А. Богуцкий // Научный вестник ДГМА. – 2008. – № 3Е (14). – С. 21–26. – Режим доступа: <http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/04.pdf>.
4. Семенов В. М. Экспрессные методы оценки и прогнозирования качества сварных соединений при электрошлаковой сварке // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 1 (18). – С. 279–284.
5. Семенов В. М. Ресурсосберегающие технологии при производстве сварных заготовок / В. М. Семенов, А. В. Жартовский, В. И. Кабацкий. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 160 с.
6. Готальский Ю. Н. О механизме предотвращения околосшовных трещин при сварке закаливающих сталей с использованием аустенитных материалов / Ю. Н. Готальский, Д. П. Новикова // Автоматическая сварка. – 1992. – № 2. – С. 21–25.