

УДК 621.791.72

Е.С. Саломатова

E.S. Salomatova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСЦИЛЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО
ПУЧКА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТАЛЛА СВАРНОГО
ШВА ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ СТАЛИ
12X18H10T**

**RESEARCH OF INFLUENCE OF OSCILLATING
OF THE ELECTRONIC BUNCH ON THE CHEMICAL
COMPOSITION OF METAL OF THE WELD BEAD
AT ELECTRON BEAM WELDING OF STEEL 12X18H10T**

Исследуется изменение содержания легирующих элементов в процессе испарения из канала проплавления при электронно-лучевой сварке стали 12X18H10T с использованием осциллирующего электронного пучка. Рассмотрено влияние фокусировки электронного пучка на изменение химического состава сварного шва при сварке с осцилляцией пучка. Исследование проводилось с использованием метода спектрального анализа.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, осциллированный электронный пучок, изменение химического состава, спектральный анализ, высоколегированная аустенитная сталь, сварочный шов, осцилляция.

In article change the maintenance of alloying elements is investigated at evaporation from the pro-melting channel at electron beam welding of steel 12X18H10T with an electron beam oscillating is investigated. Influence of focusing of an electronic bunch on change of a chemical composition of a welded seam when welding a with electron beam oscillating is considered. Research was carried out with use of a method of the spectral analysis.

Keywords: electron beam welding, electron beam oscillating, change of a chemical composition, spectral analysis, high-alloyed austenitic steel, weld bead.

При электронно-лучевой сварке происходит процесс внедрения электронного луча в металл с образованием канала проплавления за счет периодического выброса вещества вследствие взрывообразного испарения (вскипания) металла, что оказывает влияние на конечный химический состав свар-

ных швов. Изменение химического состава металла сварного шва по сравнению с исходным металлом становится особенно важным при сварке высоколегированных сталей, так как это может приводить к отклонениям эксплуатационных характеристик сварного соединения от заданных значений. Термодинамические оценки изменения химического состава металла шва при электронно-лучевой сварке легированных сталей проводились в работах [1, 2]. Вопросы испарения легирующих элементов представляют интерес также при разработке теоретических моделей процесса формирования сварного шва при электронно-лучевой сварке [3, 4].

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований изменения химического состава металла при электронно-лучевой сварке высоколегированной аустенитной стали 12X18H10T. Сварка производилась на электронно-лучевой установке с энергетическим агрегатом ЭЛА-6ВЧ фирмы SELMI (Украина). Мощность электронного пучка в экспериментах составляла 3,6 кВт, скорость сварки 3,2 мм/с.

Первоначально методом спектрального анализа был исследован химический состав металла сварных швов в зависимости от положения фокуса электронного пучка при электронно-лучевой сварке статическим электронным пучком и пучком, осциллирующим перпендикулярно направлению скорости сварки (частота осцилляции 559 Гц, амплитуда 1,8 мм). Результаты спектрального анализа зон проплавления в металле при сварке статическим и осциллирующим электронным пучком представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа металла зон проплавления при сварке стали 12X18H10T статическим электронным пучком

Содержание химических элементов, %	Ток фокусировки электронного пучка, мА							
	800	808	813	818	820	823	828	833
Mn	0,9936	1,13	1,2703	1,1628	1,0641	1,3157	1,0134	1,0075
Si	0,4671	0,4404	0,5051	0,4745	0,4341	0,478	0,4829	0,4957
Cr	18,448	18,159	18,999	18,742	18,141	18,794	18,637	18,841
Ti	0,533	0,5544	0,5932	0,5611	0,5552	0,5684	0,5962	0,5941
Ni	10,265	10,653	10,142	10,057	10,704	10,195	10,493	10,203
C	0,0987	0,1082	0,0875	0,0971	0,1097	0,0983	0,0998	0,0899

Анализ результатов полученных данных представлен на графиках (рис. 1–4).

Таблица 2

Результаты спектрального анализа металла зон проплавления при сварке стали 12X18H10T осциллирующим электронным пучком

Химические элементы, %	Токи фокусировки, мА					
	808	813	818	823	825	828
Mn	1,1578	1,1829	1,1933	1,1776	1,1549	1,1463
Si	0,4873	0,476	0,4616	0,4826	0,4668	0,4884
Cr	18,5184	18,5333	18,1193	18,5968	18,5577	18,4843
Ti	0,5459	0,5362	0,5366	0,5395	0,5373	0,5694
Ni	10,145	10,2584	10,2998	9,966	10,1818	10,247
C	0,1038	0,098	0,0974	0,0983	0,1002	0,1002

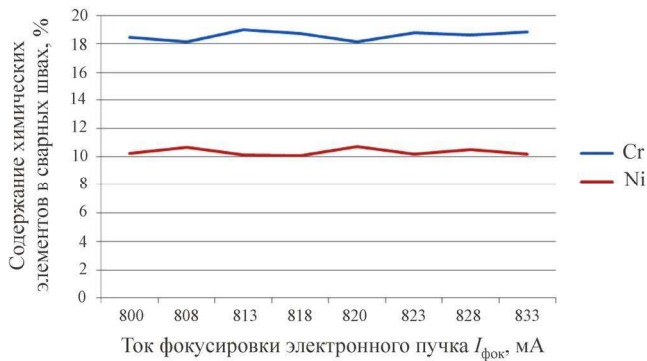


Рис. 1. Изменение содержания хрома и никеля в сварных швах в зависимости от тока фокусировки электронного пучка при сварке без осцилляции пучка

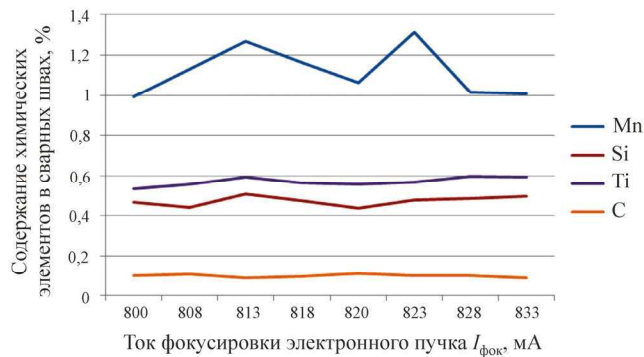


Рис. 2. Изменение содержания марганца, кремния, титана и углерода в сварных швах в зависимости от тока фокусировки электронного пучка при сварке без осцилляции пучка

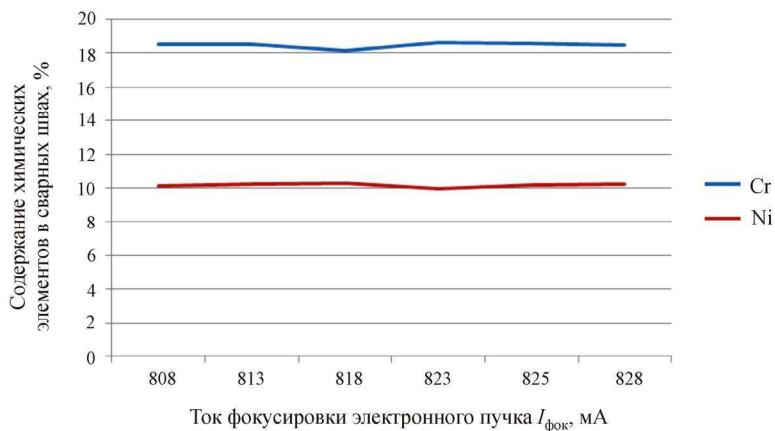


Рис. 3. Изменение содержания хрома и никеля в сварных швах в зависимости от тока фокусировки электронного пучка при сварке с поперечной осцилляцией пучка

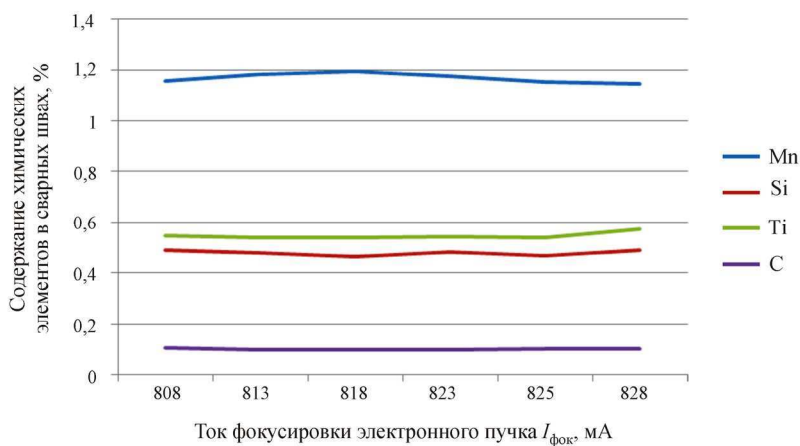


Рис. 4. Изменение содержания марганца, кремния, титана и углерода в сварных швах в зависимости от тока фокусировки электронного пучка при сварке с поперечной осцилляцией пучка

Далее полученные данные о химическом составе металла сварных швов сравнивались с определенным спектральным анализом химическим составом основного металла, стали 12Х18Н10Т:

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
0,1024	0,4792	1,4184	10,6471	–	–	17,8456	–	0,5934

Для получения оптимальной геометрии сварных швов электронно-лучевая сварка в большинстве случаев производится при острой или близкой к ней фокусировке электронного пучка (под острой фокусировкой обычно понимается фокусировка, обеспечивающая максимальную глубину проплавления при заданной полной мощности электронного пучка) [5]. Наибольший интерес при этом представляет изменение химического состава сварного шва по сравнению с основным металлом при электронно-лучевой сварке с острой фокусировкой электронного пучка.

Для изучения изменения химического состава металла шва при сварке с острой фокусировкой электронного пучка были проведены экспериментальные исследования, в которых ток острой фокусировки определялся по максимальному значению амплитуды колебаний переменной составляющей вторичного тока в плазме с частотой в диапазоне 10–30 кГц [6]. Эта составляющая выделялась путем регистрации тока коллектора электронов, установленного над зоной сварки и находящегося под положительным потенциалом 30 В. Применительно к условиям эксперимента ток острой фокусировки $I_{\text{фок}} = 813$ мА.

При проведении экспериментов производились проходы по образцам из стали 12Х18Н10Т при острой фокусировке электронного пучка без осцилляции пучка и с поперечной осцилляцией электронного пучка. Результаты экспериментов представлены в табл. 3, 4 и на диаграммах, приведенных на рис. 5–8.

Таблица 3

Результаты спектрального анализа металла сварных швов, полученных при сварке с острой фокусировкой без осцилляции электронного пучка

Химический элемент	Образец № 1	Образец № 2	Среднее значение содержания элемента, %	Содержание элемента в основном металле
Mn	1,2703	1,1596	1,21495	1,4184
Si	0,5051	0,4632	0,48415	0,4792
Cr	18,9939	18,5119	18,7529	17,8456
Ti	0,5932	0,5234	0,5583	0,5934
Ni	10,1472	10,2855	10,21635	10,6471
C	0,0875	0,0979	0,0927	0,1024

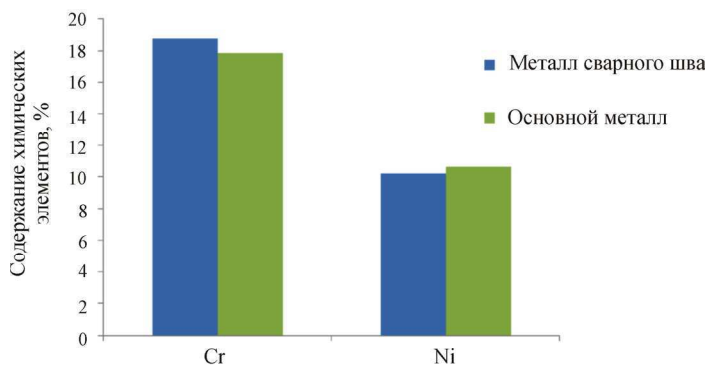


Рис. 5. Содержание хрома и никеля в сварном шве, выполненном при сварке с острой фокусировкой электронного пучка без осцилляции пучка, и основном металле

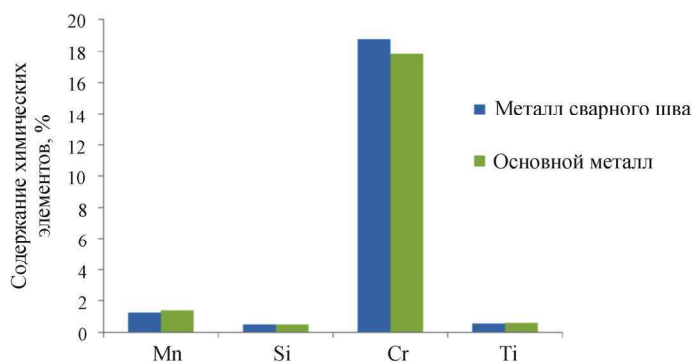


Рис. 6. Содержание марганца, кремния, хрома и титана в сварном шве, выполненном при сварке с острой фокусировкой электронного пучка без осцилляции пучка, и основном металле

Таблица 4

Результаты спектрального анализа металла сварных швов, полученных при сварке с острой фокусировкой и осцилляцией электронного пучка

Химический элемент	Образец № 3	Образец № 4	Среднее значение содержания химического элемента, %	Содержание химического элемента в основном металле, %
Mn	1,1829	1,2607	1,2218	1,4184
Si	0,476	0,5221	0,49905	0,4792
Cr	18,5333	18,7849	18,6591	17,8456
Ti	0,5362	0,5919	0,56405	0,5934
Ni	10,2584	9,9853	10,12185	10,6471
C	0,098	0,1007	0,09935	0,1024

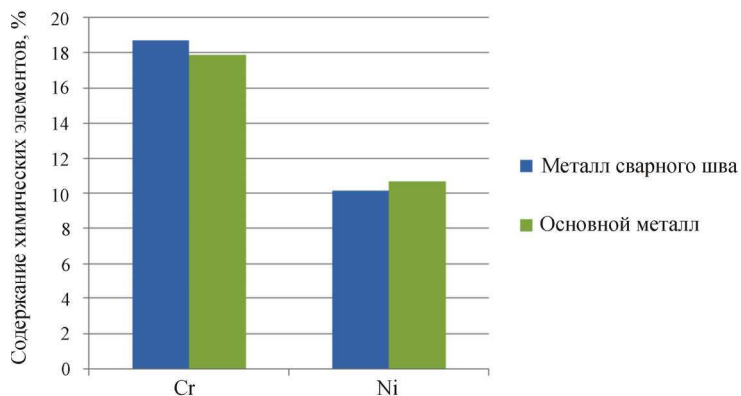


Рис. 7. Содержание хрома и никеля в сварном шве, выполненном при сварке с острой фокусировкой электронного пучка с поперечной осцилляцией пучка, и основном металле

Для более информативного анализа результатов, строим отдельную гистограмму для элементов Mn, Si, Ti, C.

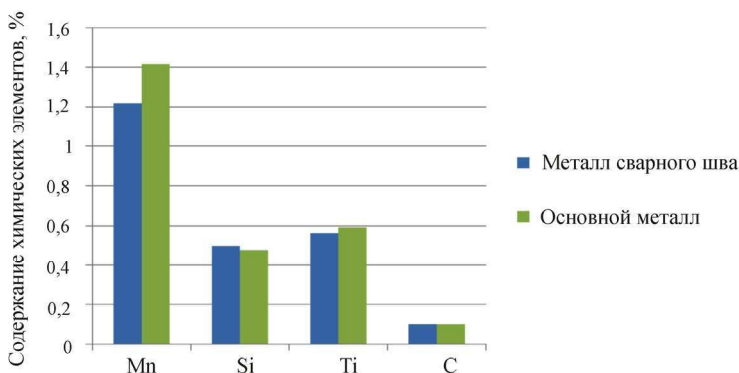


Рис. 8. Содержание марганца, кремния, хрома и титана в сварном шве, выполненном при сварке с острой фокусировкой электронного пучка и поперечной осцилляцией пучка, и основном металле

В результате проведенных экспериментов подтверждены данные термодинамических расчетов [1, 2], свидетельствующие об уменьшении в сварном шве содержания марганца, хрома и никеля по сравнению с основным металлом. Установлено также, что в швах, полученных при острой фокусировке электронного пучка без осцилляции, наблюдаются более существенные отклонения химического состава металла сварных швов, чем при электронно-лучевой сварке с поперечной осцилляцией электронного пучка.

Список литературы

1. Саломатова Е.С., Беленький В.Я. Термодинамическая оценка влияния теплофизических свойств легирующих элементов на давление паров в канале проплавления при электронно-лучевой сварке высоколегированных сталей // Сварка и диагностика. – 2011. – № 2. – С. 22–25.
2. Беленький В.Я., Саломатова Е.С., Малюкеева М.Е. Математическая модель давления паров и состава пара в канале проплавления при электронно-лучевой сварке высоколегированных сталей // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2011. – Т. 13, № 1. – С. 80–86.
3. Механизм вторично-эмиссионных процессов при электронно-лучевой сварке с модуляцией электронного пучка / В.М. Язовских, Д.Н. Трушников, В.Я. Беленький, Л.Н. Кротов // Сварочное производство. – 2004. – № 4. – С. 21.
4. Формирование вторично-эмиссионного сигнала при ЭЛС со сквозным проплавлением / Д.Н. Трушников, В.М. Язовских, Л.Н. Кротов, В.Я. Беленький // Сварочное производство. – 2006. – № 11. – С. 22–24.
5. Структура вторично-эмиссионного сигнала при электронно-лучевой сварке с глубоким проплавлением / Д.Н. Трушников, В.М. Язовских, В.Я. Беленький, Л.Н. Кротов // Сварка и диагностика. – 2008. – № 4. – С. 22–24.
6. Динамическая модель электронно-лучевой сварки со сквозным проплавлением / В.Я. Беленький, Д.Н. Трушников, А.Л. Пискунов, А.Н. Лялин // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – Пермь, 2011. – Т. 13, № 3. – С. 72–84.

Получено 1.11.2012

Саломатова Екатерина Сергеевна – старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: weld-katy@mail.ru).

Salomatova Ekaterina Sergeevna – Senior Lecturer, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: weld-katy@mail.ru).