



УДК 669.187.826

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ЛИТОМ МЕТАЛЛЕ СТАЛИ ТИПА 316 ПОСЛЕ КОЛЬЦЕВОГО ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕНИЯ ЖИДКИМ МЕТАЛЛОМ

А. А. Полишко, Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко,
А. Ю. Туник, С. Н. Степанюк

Представлены результаты оценки по методу А международного стандарта ASTM E45 размеров, состава и характера распределения неметаллических включений в литом металле высоколегированной стали типа 316 (AISI) после последовательного кольцевого электрошлакового наплавления жидким металлом в поперечном сечении модельного слитка.

Presented are the results of assessment of sizes, composition and nature of distribution of nonmetallic inclusions in cast metal of high-alloy steel of 316 type (AISI) after the successive circumferential electroslag surfacing with liquid metal in cross section of a model ingot using the method A of International standard ASTM E45.

Ключевые слова: неметаллические включения; кольцевое электрошлаковое наплавление жидким металлом с целью укрупнения слитков; модельный двухслойный слиток; высоколегированная сталь Cr-Ni-Mo

Одним из важных критериев качества литого металла, наряду с микроструктурой, является степень загрязненности неметаллическими включениями (НВ). С увеличением массы слитка НВ укрупняются, ухудшаются макро- и микроструктуры, что приводит к снижению свойств литого металла. Для обеспечения гарантированного качества литого металла в крупных слитках, которые служат заготовками для деталей ответственного назначения, актуальным является формирование однородной высококачественной структуры.

Для получения крупных слитков с гарантированной высококачественной структурой предлагается способ последовательного кольцевого электрошлакового наплавления жидким металлом с целью укрупнения слитков [1].

Неметаллические включения любого состава в зависимости от их размеров в условиях высоких нагрузок при эксплуатации могут служить концентраторами напряжений и местами зарождения трещин, что недопустимо для ответственных деталей, например вращающихся узлов современных паровых и газовых турбин.

В настоящее время в Украине и странах СНГ контроль НВ выполняют по ГОСТ 801-78 [2] в баллах для трех типов включений (оксиды, сульфиды, глобулы). Соответствующие фотоэталоны

прилагаются к стандарту. Оценка качества дается по максимальному баллу НВ в шести образцах, а допустимое значение изменяется в зависимости от способа выплавки и диаметра поставляемой продукции. Однако в этом стандарте не оговорено, сколько включений максимального балла может находиться на контролируемой поверхности образцов.

За рубежом контроль загрязненности НВ в основном производят по методу А ASTM E45 [3] для четырех типов включений (оксиды, сульфиды, силикаты, глобулы) тонкой и толстой серии (размеров) по IR-шкалам. В каждом образце определяют максимальный и минимальный баллы конкретного типа включений и их средний балл.

Существуют количественные методики оценки НВ, когда контролируют все поля зрения на определенной площади шлифа и определяют объемный процент каждого типа включений или их количество, или средний индекс и т. д., например метод Л2 ГОСТ 1778 [4].

В настоящей работе использовали два метода: качественный (в баллах) и количественный контроль НВ (ASTM E45 метод А и ГОСТ 1778 метод Л2).

Цель настоящей работы заключается в оценке размеров, состава и характера распределения НВ литого металла высоколегированной стали типа 316 (AISI) после последовательного кольцевого ЭШНУ ЖМ в поперечном сечении модельного слитка.

В качестве исходного материала использовали высоколегированную сталь Cr-Ni-Mo типа 316 (AISI), содержание элементов в которой следующее, мас. %:

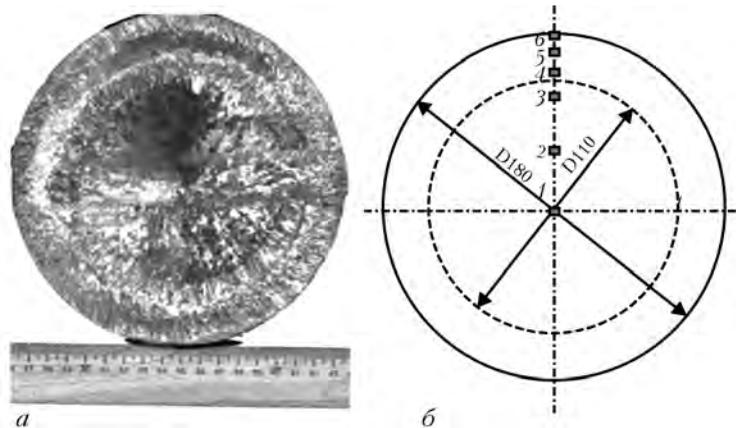


Рис. 1. Макроструктура поперечного темплета модельного двухслойного слитка после ЭШНУ ЖМ (316+316) (а) и точки анализа НВ (б): 1 – осевая часть центрального слитка; 2 – середина радиуса центрального слитка; 3 – зона сплавления со стороны центрального слитка; 4 – зона сплавления со стороны наплавленного слоя; 5 – середина наплавленного слоя; 6 – край наплавленного слоя; штриховой линией показана линия сплавления наплавленного слоя с центральным слитком

≤ 0,08 С; 2,0 Мн; 2,0 Мо; 1,0 Si; 17,0 Cr; 12,0 Ni; остальное Fe; до 0,03 S; P до 0,045. Для контроля загрязненности НВ выбрали метод А международного стандарта ASTM E45, а для сравнения использовали методику по ГОСТ 1778, метод Л2.

Оценку размеров, состава и характера распределения НВ проводили на металле модельного двухслойного слитка диаметром 110...180 мм из высоколегированной стали Cr–Ni–Мо типа 316, полученного в ходе натуральных экспериментов в лабораторных условиях кольцевым электрошлаковым наплавлением жидким металлом с целью укрупнения слитка. Анализ НВ выполняли в поперечном сечении на образцах, вырезанных из характерных зон модельного слитка согласно рис. 1, б в точках 1-6.

Характер распределения НВ оценивали с помощью оптической микроскопии на металлографическом микроскопе «Неофот-323», оснащенный приставкой для цифрового фотографирования на нетравленных образцах. В поле окуляра зафиксировали незначительное количество включений – от 1 до 6 шт. (рис. 2). При этом в точках 3-6 в наплавленном слое обнаружено значительно меньшее количество включений в поле окуляра, по сравнению с точками 1-3 в центральном слитке (рис. 2).

Для оценки размеров и состава неметаллических включений в поперечном сечении модельного слитка использовали метод А международного стандарта ASTM E45, который позволяет по изображениям нетравленной поверхности образцов проводить автоматическое разделение НВ по морфологическим типам, а также определять их серии и баллы.

Процедура анализа заключалась в следующем. Сначала производили выделение НВ по яркостным характеристикам в режиме ВЕI (изображение во вторичных электронах) при помощи аналитического комплекса, состоящего из сканирующего электронного микроскопа JSM-35CF фирмы «JEOL» (Япония) и рентгеновского спектрометра с дисперсией по энергии рентгеновских квантов (модель INCA Energy-350 фирмы «Oxford Instruments», (Великобритания). Эксперименты выполняли при ускоряющем напряжении 20 кВ, увеличении от 200 до 4000, элементный анализ осуществляли в диапазоне от В до U. По морфологическим признакам и химическому составу на основе энергодисперсион-

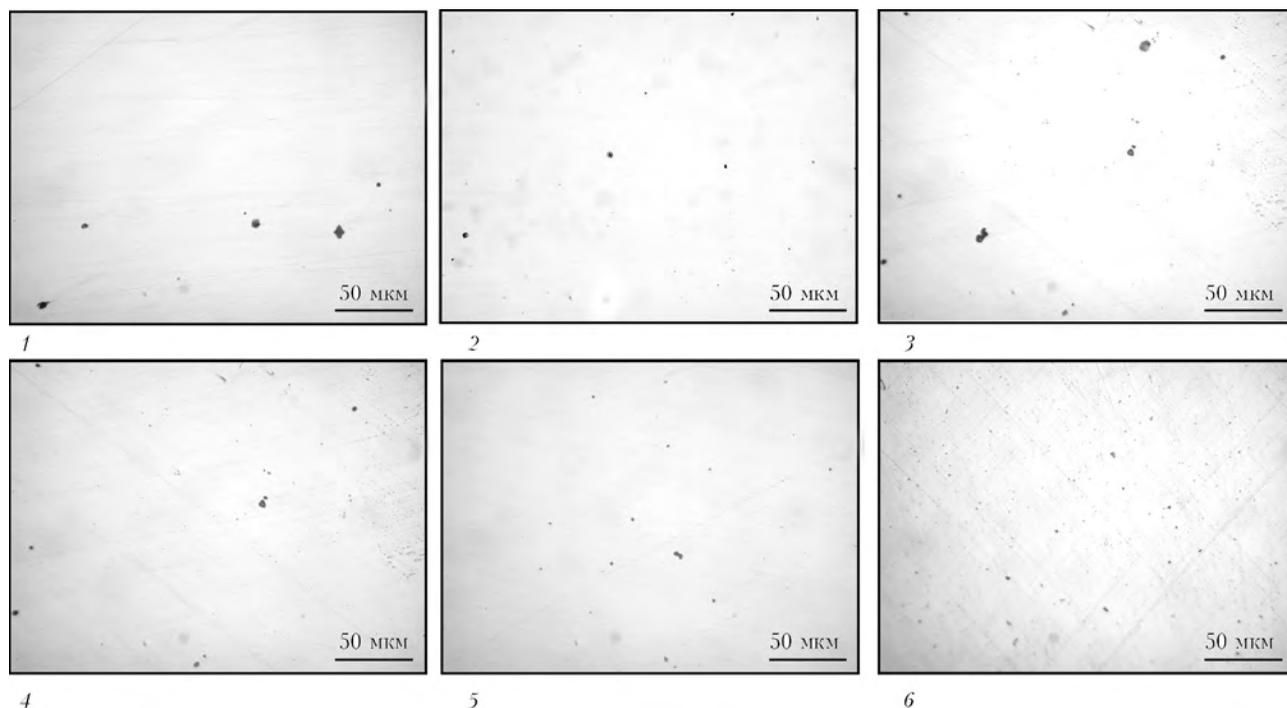


Рис. 2. Характер распределения НВ на нетравленных образцах (обозначения поз. 1-6 см. на рис. 1)



Анализ НВ в двухслойном модельном слитке из высоколегированной стали типа 316					
Место исследования	Тип	Балл	Количество, шт. (%)	Средний размер, мкм	Группы включений согласно ГОСТ 1778 (метод Л2)
Центр слитка (точка 1)	A	0,5	10 (59)	4,55	3
	AB		7 (41)	4,31	
Середина радиуса слитка (точка 2)	A	< 0,5	6 (29)	3,77	3
	AB	1,0	15 (71)	3,82	
Край слитка зона сплавления (точка 3)	A	< 0,5	9 (45)	2,36	2
	AB	0,5	11 (55)	2,38	
Зона сплавления в наплавленном слое (точка 4)	A	< 0,5	8 (47)	2,95	2
	AB	0,5	9 (53)	2,46	
Середина наплавленного слоя (точка 5)	A	< 0,5	10 (52)	2,56	2
	B		3 (16)	2,80	
	AB		6 (32)	2,46	
Край наплавленного слоя (точка 6)	A	< 0,5	17 (61)	1,67	1
	AB	0,5	11 (39)	1,88	

Примечание. Согласно ASTM E45 для всех типов включений определена «тонкая» серия.

Средний линейный размер НВ для центрального слитка составлял 2,36... 3,82, а для наплавленного слоя — 1,67... 2,8 мкм.

Для сравнения проведена оценка и определены ориентировочные группы включений согласно ГОСТ 1778, метод Л2. Отмечено незначительное изменение (измельчение) размеров включений по направлению от центра исходного слитка к краю наплавленного слоя.

Таким образом, показано практически равномерное распределение НВ в поперечном сечении модельного слитка из высоколегированной стали типа 316. Все типы НВ имеют «тонкую» серию. Установлено, что средний линейный размер НВ для центрального слитка составляет 2,36... 3,82 мкм, а для наплавленного слоя — 1,67... 2,8 мкм. Обнаружен незначительный разброс размеров включений в исследуемых зонах: в центральной части исходного слитка — 4,31... 4,55, зоне сплавления — 2,36... 2,95 и наплавленном слое — 1,67... 2,8 мкм. В целом максимальный размер НВ в литом металле модельного слитка после кольцевого электрошлакового наплавления жидким металлом с целью укрупнения слитков из высоколегированной стали типа 316 диаметром 180 мм не превышал 4,55 мкм. Для сравнения использовали слитки диаметром 120 мм из стали ШХ 15 [5]. Максимальный размер НВ после электрошлакового переплава не превышал 20 мкм.

ного спектрального анализа производили разделение НВ на типы, определяли их размеры.

Обработку результатов анализа неметаллических включений осуществляли с помощью специальной программы количественного распределения фаз и включений (Feature).

Аналізу подвергали следующие типы НВ: сульфиды А, оксиды алюминия В, силикаты С, оксиды глобулярные D и включения смешаного типа АВ.

Согласно международному стандарту ASTM E45 обнаружены включения типа А и незначительное количество (16 %) включений типа В. Кроме того, зафиксированы включения смешаного типа АВ (таблица).

1. *Новый технологический процесс получения сверхкрупных стальных слитков способом ЭШН ЖМ* / Б. Е. Патон, Л. Б. Медовар, В. Я. Саенко и др. // Современ. электрометаллургия. — 2007. — № 1. — С. 3–7.
2. *ГОСТ 801–78. Сталь подшипниковая. Технические условия.* — М.: Изд-во стандартов, 1979. — 23 с.
3. *ASTM E45–05. Стандартные методы испытаний для определения содержаний включений в стали.* — New-York: American Society for Testing and Materials, 2005. — 48 p.
4. *ГОСТ 1778–70. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.* — М.: Гос. комитет стандартов, 1970. — 35 с.
5. *Электрошлаковый металл* / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. — Киев: Наук. думка, 1981. — 680 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 29.11.2011