

**А. М. Скребцов, В. М. Хлестов, А. С. Качиков,
Ю. Д. Кузьмин, А. О. Секачев, В. В. Терзи**

Приазовский государственный технический университет, Мариуполь

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И ПЛОТНОСТИ СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ПРОБ, ОТОБРАННЫХ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ПЛАВКИ В ДУГОВОЙ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

Для ванны электродуговой сталеплавильной печи разработана методика отбора проб металла в процессе плавки и анализа их на содержание углерода и структурных составляющих металла (перлита и феррита). Обнаружены отдельные отклонения от этой закономерности при общей корреляции между изучаемыми величинами.

Ключевые слова: жидкость, пробы металла, содержание в твердых пробах углерода, феррита, перлита.

Для ванни електродугової сталеплавильної печі розроблена методика відбору проб металу в процесі плавки та аналізу їх на вміст вуглецю і структурних складових металу (перліту і фериту). Виявлено окремі відхилення від цієї закономірності при загальній кореляції між досліджуваними величинами.

Ключові слова: рідина, проби металу, вміст у твердих пробах вуглецю, фериту, перліту.

To bath arc furnace was designed methodology of metal sampling during melting and analyzing them on the carbon content and the structural components of metal (ferrite and pearlite). With a total of correlation between the studied variables was found out some irregularities.

Keywords: liquid, samples of metal, content in solid samples of carbon, ferrite, pearlite.

Имеются работы, в которых изучали свойства затвердевшего металла в зависимости от условий плавки. Например, в [1] отметили, что в сплаве АЛ-2 при определенных перегревах расплава над линией ликвидуса его свойства (σ_v и δ) изменяются скачкообразно. При этом для иллюстрации влияния режимов нагрева металла приводятся микроструктуры затвердевших отливок.

Для никелевых сплавов авторы [2] изменяли режимы термовременной обработки расплавов. Показали распределение легирующих элементов (хром, молибден, вольфрам, титан и другие) по сечению шлифа, а также микроструктуры затвердевших сплавов.

В работе [3] алюминиевый сплав АК-9 с температурой ликвидуса в интервале 597-608 °С перегревали до температур 700, 750, 800, 850, 900 и 950 °С. После затвердевания образцов обнаружили, что их твердость НВ периодически изменяется от 25 до 42 единиц с максимумами, соответствующими нагреву до 700, 800 и 900 °С. В этой работе приведена приближенная количественная характеристика микроструктуры металла.

В каждой из названных работ [1-3] исследовали свойства затвердевшего металла после завершения плавки и не отбирали пробы жидкого металла на разных стадиях плавки.

Поэтому *цель настоящей работы* – определение содержания углерода, плотности и изучение микроструктуры проб металла, отобранных из плавильной печи в разные периоды ее плавки и затвердевших при охлаждении с одинаковой скоростью.

Опыты проводили в дуговой электропечи емкостью 20 т при выплавке стали сле-

Получение и обработка расплавов

дующего химического состава, в %: 0,17-0,25 С; 0,90-1,4 Мп; 0,30-0,50 Si; ≤0,030 S; ≤0,040 P; ≤0,30 С; ≤0,30 Ni; ≤0,60 Cu; 0,07-0,13 V.

Технология плавки металла была стандартной, достаточно подробно она описана в работе [4].

Всего провели 5 опытных плавков. Во время плавки с помощью ложки сталевара отбирали пробы жидкого металла, которые заливали в массивные чугунные пробы. Размер проб: высота 70 мм, диаметр 38 мм, масса проб – 500-560 г. Схема отбора проб по периодам была следующей: плавление – 1, 2, 3-я; окисление – 4, 5, 6-я; восстановление – 7, 8, 9 и 10-я – из ковша. Для всех проб металла провели химический анализ, измерили плотность и изучили их микроструктуру.

Химический анализ проб металла проводили на оптико-эмиссионном спектрометре GS-1000 из модельного ряда OBLE. Кроме обычных легирующих элементов стали (марганец, кремний, кобальт и другие) прибор позволяет выполнить анализ на содержание в металле углерода, фосфора, серы.

Плотность проб металла ρ_m определяли с помощью метода 3-кратного взвешивания [5]

$$\rho_m = \frac{P}{Q - p + P}(\delta - \lambda) + \lambda,$$

где Q – масса пикнометра с водой; P – масса образца; p – масса пикнометра с водой и образцом; δ – плотность воды; λ – плотность воздуха (0,0012, при 20 °С).

Для металлографического исследования все пробы подвергали стандартному отжигу, чтобы исключить влияние достаточно быстрого его охлаждения на микроструктуру. Из отожженных проб готовили микрошлифы, которые протравливали в 4%-ном растворе азотной кислоты. При увеличении от 100 до 500 крат шлифы исследовали на оптическом бинокулярном микроскопе марки Axio ImageZ A2m (производство германской фирмы Zeiss AG). Микроскоп оснащен компьютером, который позволяет при решении металлургических задач с помощью специальной программы Thixomet Pro определять по шлифу металла его фазовый состав по проценту феррита и перлита.

Совокупные данные, полученные при исследовании всех проб, отобранных по ходу каждой из 5-ти плавков, приведена в таблице. Из приведенных средних экспериментальных данных следует, что в целом по ходу плавки предсказуемо изменяется содержание углерода и количество феррита в затвердевших пробах (строки 2 и 3 таблицы). Уже на стадии расплавления значительно (от 0,9 до 0,64 %) понижается содержание углерода. Это может быть связано с тем, что в первую очередь плавится высокоуглеродистый лом, а по мере повышения температуры расплава в нем расплавляется малоуглеродистый лом, в результате чего к концу стадии плавления содержание углерода в ванне понижается примерно до 0,64-0,62 % (таблица, строки 1, 2). Соответственно изменяется и количество феррита в микроструктуре образцов, в %: от 0-1 в 1 и 2-й пробах, до ~ 20 – в 3-й пробе (таблица, строка 3).

В окислительном периоде в ванне электропечи (пробы 4-6 в таблице) углерод интенсивно выгорает и поэтому его содержание в 6-й пробе понижается до 0,16- 0,20 %. Естественно при этом доля феррита в микроструктуре повышается от 55 до 75 % в 6-й пробе (таблица, строка 3).

В восстановительный период (пробы 7-9) окисление углерода прекращается, а вводимые в ванну раскислители и лигатуры, содержащие повышенное количество углерода, несколько (на 0,02-0,04 %) увеличивают его содержание в стали. Это должно было бы несколько уменьшать долю феррита в микроструктуре. Однако это однозначно подтвердить не удалось, поэтому можно говорить лишь о тенденции уменьшения доли феррита в микроструктуре по мере развития стадии восстановления и в готовом расплаве (пробы 7-9) и ковше (проба 10).

Получение и обработка расплавов

В литературе известны факты неравновесности получаемых структур при быстром затверждении расплава. Так например, в работе [6] обнаружили, что первичная кристаллизация расплавов Fe-C при содержании углерода вплоть до 1,5 % по массе во всех случаях первоначально протекает с образованием δ -фазы (очевидно, неравновесной).

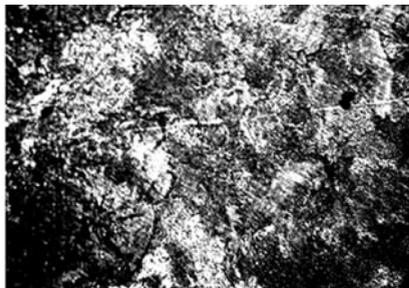
Из таблицы (строка 4) следует, что плотность металла отобранных проб по ходу плавки изменяется по зависимости, имеющей 2 максимума и 1 минимум, что можно связать только с изменением их газонасыщенности и соответственно пористости. Второй фактор, который может повлиять на плотность стали, – это содержание углерода в пробах. Так как содержание углерода в металле до периода восстановления все время уменьшается, то это должно было бы плавно увеличить плотность проб. Мы наблюдали, начиная со 2-й пробы периода расплавления, заметное понижение плотности до конца периода окисления (проба 6, строка 4 таблицы). Очевидно, еще в период расплавления происходит выгорание углерода и образование пузырьков CO, что и приводит к понижению плотности. Этот процесс усиливается в период окисления, поэтому насыщенность металла газами возрастает, а плотность его понижается.

Средние показатели 5-ти плавов малоуглеродистой стали в дуговой электродной емкости 20 т по пробам, отобранным в разные ее периоды

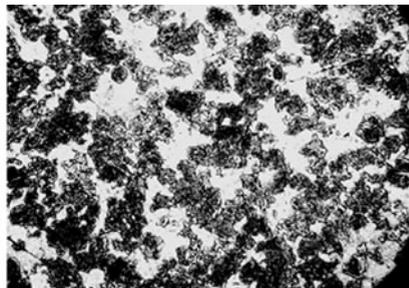
Строка показателя	Пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	период	плавление			окисление			восстановление			ковш
2	C, %	0,91	0,81	0,63	0,41	0,23	0,16	0,15	0,15	0,18	0,2
3	феррит в структуре, %	0	1	19	56	69	74	74	72	71	68
4	плотность, ρ , г/см ³	7,746	7,822	7,766	7,720	7,614	7,636	7,14	7,754	7,744	7,718

Процесс выгорания углерода в восстановительный период прекращается, поэтому газонасыщенность расплава постепенно уменьшается. В результате наблюдаем постепенное повышение плотности металла проб.

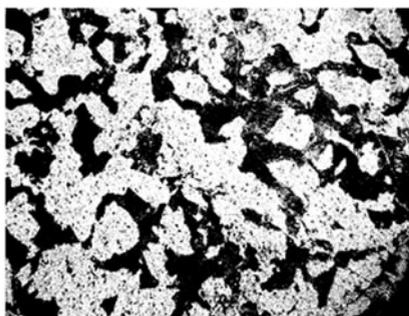
На рисунке приведены наиболее типичные микроструктуры на разных стадиях плавки. Можно заключить, что микроструктура изменяется в полном соответствии с изменением содержания углерода в пробах. В начале стадии расплавления 0,9 % структура представляет собой пластинчатый перлит с небольшим количеством вторичного цементита (рисунок, а). К концу периода расплавления в отобранных пробах содержатся ~0,64 % и в структуре наблюдается наряду с перлитом ~ 0,20 % феррита (светлая составляющая на рисунок, б). При понижении содержания углерода до 0,4 % формируется (как и должно быть) структура, состоящая из перлита и феррита примерно в равных долях (рисунок, в). К концу окислительного периода содержание углерода достигает уровня ~ 0,18 % и в дальнейшем стабилизируется, поэтому микроструктура проб 6-10 была примерно одинаковой состоящей из ~ 70-75 % феррита и 25-30 % перлита (темная составляющая на рисунке, г).



а



б



в



г

Микроструктура проб малоуглеродистой стали, выплавленной в электродуговой печи емкостью 20 т, и отобранных в различные периоды ее плавки: а – проба 1, пластинчатый перлит с небольшим количеством цемента; б – проба 3, конец плавления, феррита до 20 %; в – проба 4, перлит и феррит примерно в равных долях; г – проба 6, 74 % феррита + 25 % перлита

Выводы

Разработана методика отбора проб жидкого металла из ванны сталеплавильной дуговой электропечи, которая позволяет получать при комнатной температуре равновесные структуры металла – феррит и перлит. Найдено, что в окислительный период плавки количество феррита в структуре металла непрерывно увеличивается ~ от 0 до 75 % объема. В восстановительный период, наоборот, обнаружена тенденция, количество феррита уменьшается ~ от 75 до 70 % объема, есть отдельные отклонения от равновесной структуры.



Список литературы

1. Влияние термоскоростной обработки жидкого сплава АЛ2 на свойства отливок / Ю. Н. Таран, И. А. Новохатский, В. И. Мазур и др. // Литейн пр-во. – 1985. – № 7. – С. 8.
2. Температурно – временная обработка никелевых сплавов в жидком состоянии / Н. М. Кочегура, С. П. Казачков, В. Н. Ткач, А. С. Вишневский // Там же. – 1985. – № 10. – С. 13-14.
3. Влияние температуры нагрева жидкого алюминиевого сплава на микроструктуру затвердевшего металла / А. М. Скребцов, Г. А. Иванов, Ю. Д. Кузьмин и др. // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту. – Маріуполь, 2011. – № 23. – С. 138-142
4. Крамаров А. В. Производство стали в электропечах. – М.: Metallurgizdat. 1969. – 440 с.
5. Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Metallurgiya, 1980. – 320 с.
6. Ивахненко И. С., Кашин В. И. / Современное представление о структуре металлических расплавов и о роли жидкого состояния в формировании первичной структуры литого металла // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 27-29.

Поступила 30.06.2014