

УДК 669.15-198

Г.А. Есаулов, Ю.В. Климчик, М.И. Гасик, А.П. Горобец

## ВЫПЛАВКА ЭЛЕКТРОСТАЛИ КОЛЕСНОГО И ТРУБНОГО СОРТАМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОСПЛАВОВ СТАБИЛЬНОГО ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВОВ

**Аннотация.** Изложены материалы производства электростали и непрерывнолитых заготовок трубного сортамента в условиях завода «Днепросталь» и требования, предъявляемые к качеству ферросплавов для выплавки трубных сталей.

**Ключевые слова:** электросталь, сортамент трубной стали, непрерывнолитые заготовки, качество ферросплавов, примеси цветных металлов, неметаллические включения.

Электросталеплавильный комплекс МЗ «Днепросталь» является основным производителем стали и непрерывнолитых заготовок для производства на НТЗ (Интерпайл сталь) бесшовных труб широкого сортамента и функционального назначения. Электросталь трубного сортамента производится по совмещенному с колесной сталью магистральному технологическому маршруту сквозной агрегатно-технологической схеме: выплавка металло-полупродуктов дуговой электропечи ДСП-190, внепечное раскисление, легирование, рафинирование на установке ковш-печь (УКП) под оксидно-фторидкальциевыми высокоосновными шлаками и вакуумной обработке в камерном ковшевом вакууматоре с последующей разливкой на МНЛЗ. Колесная сталь разливается на 4-х ручьевой МНЛЗ № 2 с получением заготовок диаметром от 385 мм до 470 мм, а сталь трубного сортамента – на 5-ти ручьевой МНЛЗ № 1. Непрерывнолитые трубные заготовки отливаются диаметром от 150 мм до 290 мм. Проектом сквозных технологий производства колесных и трубных заготовок предусмотрены серийные разливки металла: 4 плавки трубной стали разливают на МНЛЗ № 1 и 7 плавок колесной стали на МНЛЗ № 2.

Современная технология выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки трубной стали в сочетании с компьютерным программным обеспечением, поэтапным контролем параметров процессов позволяет производить заготовки стали трубного сортамента, легированной в том числе и редкими элементами (Mo, Nb, V и др.).

Раскисление стали производится ФС65, MnC17, конечное Al, а легирование (главным образом микролегирование) – феррохромом, феррониобием, ферромолибденом, феррованадием, ферротитаном (табл. 2) и некоторыми другими ферросплавами – ферробором, никелем и др.

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что требования к качеству ферросплавов по ДСТУ и ГОСТ сведены, в основном, к ограничению в них вредных примесей. Практика сталеплавильных заводов подтверждает о необходимости учета при оценке качества ферросплавов не только химического состава, но и физических характеристик, как то: температура плавления, плотность и др., которые определяют эффективность процессов раскисления и легирования стали. Известно, что с целью снижения дорогих и дефицитных ферросплавов, присадка их в стальную ванну (ковш) производится в заключительный период плавки, когда возможности рафинирования металла от примесей, привнесенных ферросплавами, весьма ограничены. Следует особо обратить внимание на возможность повышения «загрязненности» стали неметаллическими включениями из ферросплавов. Проведенные масштабные пионерные исследовательские работы в нашей стране и за рубежом подтверждают взаимосвязь оксидных, нитридных включений водорода и азота в ферросплавах и выплавляемой стали. Требования к качеству ферросплавов должны обоснованно устанавливаться в зависимости от технологического назначения каждого ферросплава (раскислителя, легирующего).

Таблица 1

Химические составы электростали трубного сортамента, выплавляемой на МЗ «Днепросталь»

Марка стали	Содержание элементов, % масс.												
	C	Si	Mn	Cr	Cu <sub>пол.</sub>	Al	Mo	Nb	V	H <sub>max.</sub>	S <sub>max.</sub>		
42XM4 (42CrMo4)	ER7(R7)	12Г2МВТУ	32Г2У1	35Г2ФУ	32ХА								
0,41-0,45	0,47-0,49	0,11-0,15	0,30-0,35	0,36-0,40	0,32-0,35								
0,15-0,40	0,25-0,37	0,17-0,57	0,17-0,57	0,17-0,37	0,17-0,57								
0,6-0,8	0,65-0,76	1,30-1,60	1,25-1,35	1,50-1,70	0,55-0,85								
0,9-1,2	0,18-0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,30	1,0-1,15								
0,030	0,25	0,10	0,30	0,30	0,20								
0,015-0,045	0,015-0,03	0,02-0,06	0,02-0,06	0,02-0,06	0,02-0,05								
0,15-0,30	max 0,08	0,05-0,08	-	-	-								
-	-	0,03-0,05	-	-	-								
max 0,03	0,025-0,04	-	-	-	0,10-0,15								
0,020	0,018	0,030	0,025	0,015	0,025								
0,008-0,015	0,013	0,025	0,025	0,015	0,025								

**Примечание:** 1. В стали марки 42XM4 содержится 0,47-0,52% Ni; 2 – в стали марки 12Г2МВТУ содержится 0,01-0,03% Ti и не более 0,009 N; 3 – в стали марки 35ХА и ER(R7) содержание водорода не должно превышать max 2 ppm, а сумма % Cr + % Mo + % Ni – max 0,50%.

Таблица 2

Химические составы стандартных ферросплавов в соответствии с нормами ДСТУ и ГОСТ

Наименование	ДСТУ	Химсостав, % масс.						
		Si	C	P	Al	Cr	Mn	S
Ферросилиций ФС75	4127-2002	74-80	≤ 0,2	≤ 0,05	≤ 3,0	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,02
Ферросилиция ФС65	4127-2002	63-68	≤ 0,2	≤ 0,05	≤ 2,5	≤ 0,4	≤ 0,4	≤ 0,02
Ферросилико- марганец MnC17	3548-97	15-20	≤ 2,5	≤ 0,3	-	-	65-75	≤ 0,03
Феррохром ФХ006А	4757-2009	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10
Феррониобий Фнб60	ГОСТ 16773:2004	≤ 1,5	≤ 0,1	≤ 0,10	≤ 3,0	Nb 55-65	Ta ≤ 1,0	≤ 0,03
Ферромолибден ФМо	ГОСТ 4759: 2009	≤ 1,0	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,05	Mo 55-65	Cu ≤ 0,5	≤ 1,0
Феррованадий FeV80	ГОСТ 27130-94	≤ 2,0	≤ 0,3	≤ 0,06	≤ 1,0	V 75-85	≤ 0,70	≤ 0,05
Ферротитан FeTi70	ГОСТ 4761: 2009	≤ 0,10	≤ 0,2	≤ 0,03	≤ 0,5	Ti 65-75	≤ 0,20	≤ 0,03

В работах зав. кафедрой электрометаллургии ДМетИ, проф. С.И.Хитрика с сотрудниками было установлено, что пластичность стали 1Х13 с применением вакуумированного в жидком состоянии феррохрома, выше пластичности стали, выплавленной с невакуумированным феррохромом. В работах Златоустовского метзавода было выявлено, что неудовлетворительная пластичность металла (сталь марок X18H10T, X17H13M2T и др.), связана с низким качеством ферротитана, содержащего повышенное количество серы, оксидных и сульфидных включений и бора. В работе Е.Н.Коровина и др. было установлено, что причиной низкой пластичности слитков стали ОХ18Н22В2Т2 является повышенное содержание примесных элементов (Pb, Sn, Sb, Zn, Bi). Использование более чистых по содержанию цветных металлов, позволило сократить брак этой стали по пластичности с 30,8% до 4%.

Наряду с ухудшением качества стали некоторые сорта ферросилиция, особенно марки ФС 75, склонны в условиях влажной атмосферы рассыпаться с образованием одним из наиболее ядовитых промышленных газов – фосфина РН<sub>3</sub> и арсина AsH<sub>3</sub>. Причиной явления рассыпания ферросилиция является не контролированное высокое содержание в сплаве Ca, Al и P. Несмотря на известность явления рассыпания и отравление персонала новым стандартом на ферросилиций ДСТУ 4127: 2102 содержание кальция в сплаве ФС75, ФС65 не регламентировано.

Недооценка сталеплавильным персоналом возможно вредного влияния загрязненности ферросплавов на качество стали, в определенной мере можно связать с вакуумированием жидкой стали перед разливкой, хотя целый ряд привносимых ферросплавных загрязнений не всегда могут быть устранены вакуумированием. При этом следует иметь ввиду, что много миллионов тонн стали выплавляется в дуговых и индукционных электропечах в цехах, не оборудованных установками вакуумирования стали.

В связи с этим актуальным является продолжение экспериментальных исследований и опытно-промышленных работ по изучению загрязненности всех видов ферросплавов примесями цветных металлов, неметаллическими включениями, азотом и водородом. Например, установлена прямая связь содержаний кальция, нерегламентированного в ферросилиции ФС65 и пораженности подшипниковой стали глобуллярными включениями. Решением проблемы повышения качества стали явилась научно обоснованная замена ферросилиция ферросиликомарганцем, что позволило повысить выход годного сортового проката с 70-72% до 98-100% [4].

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гасик М.И. Качество ферросплавов для выплавки электростали с контролем проката по неметаллическим включениям.
2. Гасик М.И., Игнатьев В.С., Каблуковский А.Ф., С.И.Хитрик. Газы и примеси в ферросплавах. М.: Металлургия, 1970, – 152 с.
3. Гасик Л.Н., Игнатьев В.С., Гасик М.И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. К.: Техника. 1975, 152 с.
4. Панченко А.И., Сальников А.С. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011, № 1, – с. 21-26.