

The processes of diffusion deoxidation of the metal in the electric furnaces with acid fettling in the production of the component parts for rolling stock are considered. The influence of the preliminary deoxidation of the metal in the furnace on the complex of indexes of the mechanical qualities, the index of the pollution density of metal by nonmetallics, their type and the character of distribution are determined.

М. С. ШРАМКО, А. В. МАЛЫЙ, НПКП «ПАРАМИ»,
В. И. МИНАКОВА, ЗНТУ,
А. Д. ЛЕЩЕНКО, О. А. ДЯЧЕНКО, НПКП «ПАРАМИ»

УДК 621.74

РОЛЬ ДИФфуЗИОННОГО РАСКИСЛЕНИЯ В КИСЛОМ ПРОЦЕССЕ

Применение кислого процесса незаменимо там, где необходимо получить мелкие или тонкостенные отливки, к которым не предъявляются особые требования по содержанию серы и фосфора. Одним из основных преимуществ кислого процесса по сравнению с основным процессом является его более низкая себестоимость.

На ОАО «Днепрвагонмаш» ДП «Днепродзержинский сталелитейный завод» в литейном цехе №1 установлены дуговые печи ДСВ-3 с кислой футеровкой, в которых в основном ведется выплавка углеродистой стали 20ФЛ для деталей и комплектующих подвижного состава. При этом преобладающим видом брака является ситовидная пористость и несоответствие комплекса показателей механических свойств металла необходимому уровню (согласно ГОСТ 977-88).

Для выяснения причин брака был проведен контроль выплавки стали 20ФЛ по существующей в цехе технологии и отобраны образцы металла забракованных плавов для металлографического анализа (сталь 20ФЛ).

Было установлено, что во время восстановительного периода не проводится процесс диффузионного раскисления металла в печи, что приводит к снижению содержания остаточного алюминия в металле ниже критического значения (присадка алюминия производилась на штанге в ковш в количестве 1,0–1,5 кг/т). Металлографический анализ показал, что в исследуемом металле преобладает второй тип неметаллических включений, располагающийся по границам зерен и свидетельствующий о низкой степени предварительной раскисленности металла (рис. 1).

Таким образом, из-за отсутствия процесса диффузионного раскисления металла в печи алюминий при конечном раскислении в ковше практически весь расходуется на связывание свободного кислорода (уходит в шлак в виде Al_2O_3), а не на уменьшение поверхностного натяжения в жидкой стали для более раннего выпадания сульфидов на кристаллах шпинели и корунда.

Статистическая обработка большого спектра данных позволила получить зависимости показателей предела прочности и предела текучести от индекса загрязненности металла неметаллическими включениями. Адекватной математической модели, описывающей влияние индекса загрязненности на показатели относительного удлинения и сужения, получено не было:

$$\begin{aligned}\sigma_b &= 526,91 - 33,153I, \\ \sigma_T &= 321,76 - 18,753I.\end{aligned}$$

где I – индекс загрязненности металла неметаллическими включениями.

На основании экспериментальных данных и полученных математических зависимостей было установлено, что в хорошо предварительно раскисленной стали, обладающей высоким комплексом показателей механических свойств, индекс загрязненности металла неметаллическими включениями третьего типа находится в пределах $<2,5 \cdot 10^{-3}$.

С целью получения плотных отливок, обладающих высоким комплексом показателей механических свойств, была проведена отработка технологии диффузионного раскисления металла в

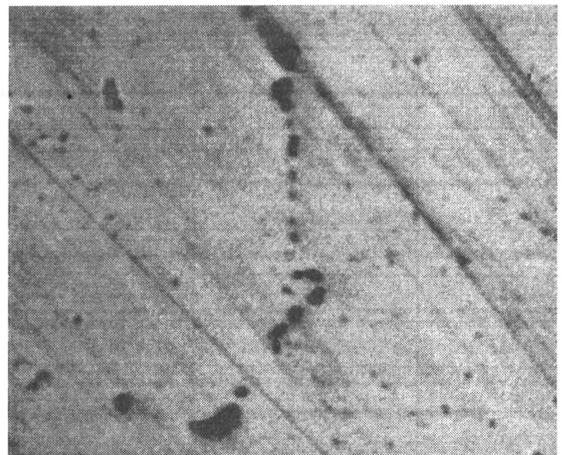


Рис. 1. Строчечные включения второго типа. $\times 1000$

печи раскислительной смесью МК-21 (ТУУ 27.5-13608393-002-2001), которая хорошо зарекомендовала себя для проведения диффузионного раскисления при выплавке большого спектра марок сталей в электрических печах с основной футеровкой. Преимущество раскислительной смеси МК-21 по сравнению со стандартными раскислительными смесями (дробленый ФС-65 и молотый коксик в соотношении 1:2) заключается в том, что в ее состав входит 30% нанопорошка кремния (содержание кремния не менее 70%) и 60% нанопорошка углерода, а также до 10% поверхностно-активных веществ. При этом были разработаны и опробованы четыре схемы ввода раскислительной смеси.

- Ввод раскислительной смеси (в количестве 5 кг/т) за один прием после наведения восстановительного шлака и введения ферросплавов (плавки №4188, 4189).

- Ввод раскислительной смеси (в количестве 5 кг/т) в два приема. Первая присадка производилась сразу после наведения шлака восстановительного периода, вторая – после введения в печь ферросплавов (плавки №4190, 4191).

- Последовательный ввод раскислительной смеси сразу после наведения шлака восстановительного периода с периодичностью 5 мин, последняя присадка после ввода ферросплавов. Количество присаженой раскислительной смеси составило 5 кг/т (плавки №4214, №4215).

- Последовательный ввод раскислительной смеси сразу после наведения шлака восстановительного периода с периодичностью 5 мин, последняя присадка перед вводом ферросплавов. Количество присаженой раскислительной смеси составило 5 кг/т (плавки №4216, 4217).

Для оценки эффективности каждой из четырех схем ввода раскислительной смеси были отобраны на химический анализ предвыпускные шлаки и образцы металла для металлографического анализа. Для сравнения были отобраны предвыпускные шлаки и образцы металла плавки, проведенных по существующей в цехе технологии (плавка №4186, 5152, 5156, 5157, 5159). Химический состав металла исследуемых плавков приведен в табл. 1, результаты химического анализа предвыпускных шлаков и металлографического анализа – в табл. 2 и 3, показатели механических свойств металла исследуемых плавков – в табл. 4.

Таблица 1. Результаты химического анализа ковшевых проб плавков

Номер плавки	C	Si	Mn	P	S	Al
4186	0,18	0,22	0,81	0,042	0,032	0,014
4188	0,20	0,34	0,96	0,047	0,032	0,03
4189	0,21	0,54	1,06	0,049	0,032	0,029
4190	0,18	0,35	0,82	0,058	0,034	0,039
4191	0,19	0,64	0,99	0,060	0,035	0,042
4214	0,17	0,29	0,93	0,041	0,032	0,032
4215	0,17	0,46	0,82	0,041	0,032	0,035
4216	0,15	0,25	0,83	0,045	0,031	0,033
4217	0,17	0,43	0,75	0,044	0,031	0,035
5152	0,22	0,28	0,83	0,039	0,034	0,020
5156	0,20	0,33	0,82	0,043	0,036	0,011
5157	0,20	0,26	0,82	0,040	0,033	0,017
5159	0,23	0,58	1,1	0,044	0,033	0,014

Таблица 2. Химический состав предвыпускных кислых шлаков

Номер плавки	Содержание оксидов, %				
	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	S
4186*	10,6	47,9	19,2	20,5	0,020
4188	11,2	49,9	7,3	21,6	0,008
4189	15,3	52,0	10,7	20,10	0,012
4190	13,4	57,8	5,1	14,3	0,020
4191	11,0	59,7	8,5	15,1	0,020
4214	15,4	52,3	9,0	16,6	0,007
4215	12,9	50,5	9,7	19,5	0,01
4216	15,2	53,4	10,7	18,5	0,007
4217	13,1	62,2	10,6	15,4	0,003

Таблица 3. Индекс загрязненности и типы неметаллических включений

Номер плавки	Индекс загрязненности ($I \cdot 10^{-3}$)			Другие виды включений	Тип включений
	оксисульфид	силикат	общий		
4188	1,506	0,24	1,746		II и III*
4186	3,93	–	3,93		II* и III
4189	2,574	–	2,574	Шлаковые	II и III*
4190	1,317	0,168	1,485	Шлаковые	III
4191	0,675	0,714	1,389		III
4214	2,913	–	2,913		II и III*
4215	1,452	0,387	1,839		III*
4216	2,362	–	2,362	Шлаковые	II и III*
4217	1,694	0,901	2,595	Шлаковые	II и III*
5152	3,66	–	3,66		II
5156	3,26	–	3,26		II
5157	3,14	0,12	3,26		II* и III
5159	3,22	0,07	3,29		II* и III

* Преобладающий тип неметаллических включений.

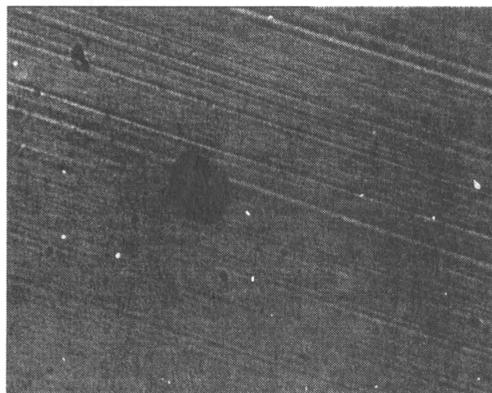
Таблица 4. Сравнительные характеристики металла исследуемых плавков

Номер плавки	σ_b , кПа	σ_T , кПа	δ , %	Ψ , %	$I_{обш}$ 10^{-3}
4188	474	299	26,0	39,0	1,75
4186	412	250	32,0	59,0	3,93
4189	512	324	30,0	62,0	2,57
4190	449	275	33,0	64,0	2,49
4191	481	299	30,0	60,0	1,389
4214	468	260	27,0	45,0	3,91
4215	494	299	32,0	61,0	1,84
4216	424	262	31,0	52,0	2,36
4217	412	250	30,0	60,0	2,60
5152	494	312	24,0	60,0	3,66
5156	484	306	26,0	50,0	3,26
5157	458	255	24,0	62,0	3,26
5159	560	369	28,0	62,0	3,29

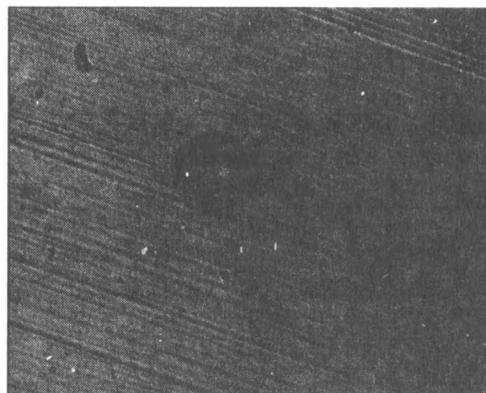
Металлографический анализ показал (подсчет неметаллических включений производили на компьютерном анализаторе изображений AUTOSCAN-objects), что в металле плавков, которые были подвергнуты диффузионному раскислению раскислительной смесью МК-21, преобладает третий тип неметаллических включений благоприятной морфологии (рис. 2). Металл этих плавков имеет меньший индекс загрязненности по неметаллическим включениям и более высокие показатели механических свойств по сравнению с металлом плавков, в которых процесс диффузионного раскисления проведен не был (рис. 3). Повышение

показателей механических свойств стали и снижение индекса загрязненности металла плавков, проведенных с диффузионным раскислением, объясняется более глубокой степенью раскисленности металла в печи, что подтверждается низким содержанием FeO и MnO в предвыпускных шлаках (табл. 2).

Также было установлено, что из четырех опробованных схем ввода раскислительной смеси оптимальной является вторая схема. Это подтверждается более низким содержанием FeO и MnO в предвыпускных шлаках (см. табл. 2), более низкими индексами загрязненности металла неметалличес-



а



б

Рис. 2. Неметаллические включения третьего типа

кими включениями (см. табл. 3) и более высокими показателями механических свойств металла.

Необходимо также отметить, что высокий уровень раскисленности металла в печи был достигнут благодаря применению ультрадисперсных раскислителей, входящих в состав МК-21 (в количестве 5 кг/т жидкой стали), и присадкой известняка (в количестве до 16 кг/т жидкой стали), которая дала возможность протекания реакции замещения FeO на CaO в комплексных силикатах. Образовавшаяся свободная закись железа (FeO) гораздо интенсивнее восстанавливается до Fe в присутствии ультрадисперсных раскислителей смеси МК-21, чем в соединении с комплексным силикатом, в результате чего происходит более полное предварительное раскисление металла.

Выводы

1. Было установлено, что на показатели механических свойств металла (тип, форма и характер распределения неметаллических включений) сильное влияние оказывает степень раскисленности металла в печи, которая непосредственно



Рис. 3. Неметаллические включения второго типа

зависит от полноты проведения диффузионного раскисления.

2. Была разработана оптимальная технология диффузионного раскисления металла в ДСП с кислой футеровкой, которая обеспечивает получение качественных плотных отливок с высокими показателями механических свойств. Разработанная технология диффузионного раскисления была успешно внедрена на ОАО «Днепрвагонмаш» ДП «Днепродзержинский сталелитейный завод».