

Диаграмма изменения окисленности металла во время выпуска другой шлавки (см. рис. 4) дает несколько иные сведения о степени использования алюминия, присаживаемого в ковш. За время слива металла из конвертера в течение 6 минут 45 секунд было введено в ковш около 80 кг алюминия, из которых только первые добавки (35 кг) оказали раскисляющее воздействие на металл – на 1-й и 3-й минутах от начала выпуска. Алюминий, введенный позднее, реагировал в основном с кислородом шлака и атмосферы.

Причинами преобладающего окисления алюминия после выпуска более половины металла в ковш по нашим наблюдениям являются:

1) увеличение количества шлака в ковше за счет раскисления и воронкообразования (по нашим данным, приблизительно в 2 раза);

2) уменьшение степени перемешивания металла падающей струей.

Поэтому чем раньше (примерно до 1/2 высоты наполнения ковша) присаживается алюминий, тем с меньшим количеством шлака он взаимодействует и, следовательно, более полно используется для раскисления металла.

Таким образом, при необходимости корректировки окисленности металла (о чем можно надежно судить по показаниям датчиков кислородно-концентрационных элементов) алюминий следует вводить только в начале выпуска, тогда необходимость в больших расходах алюминия просто отпадет.

Непрерывный замер окисленности металла в ковше во время разливки позволяет управлять процессом химического закупоривания слитков и избежать субъективных ошибок в оценке количества вводимого в изложницу алюминия, а следовательно, увеличить долю качественных слитков.

**А. В. Афонаскин,
Б. С. Чуркин,
Т. Ю. Бажова**

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ 30ХМЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННОЙ АРМАТУРЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Известно, что на хладноломкость промышленных сталей существенно влияет количество и морфология неметаллических включений [1, 2]. От применяемых раскислителей и технологии раскисления стали зависят типы неметаллических включений, индекс загрязненности стали и гранулярность структуры. Одним из путей повышения хладнотойкости стали является бескремнистое раскисление алюминием, при этом важно определить оптимальное количество

вводимого алюминия. Известно [1, 2], что при малом содержании алюминия образуются неметаллические включения в виде беспорядочно распределенных обособленных глобул, которые не оказывают существенного влияния на свойства стали. При увеличении содержания алюминия сверх количества, обеспечивающего хорошую раскисленность стали, и при малых количествах остаточного алюминия образуются включения второго типа, располагающиеся в виде цепочек по границам зерен, что способствует хрупкому разрушению стали.

Дальнейшее увеличение концентрации алюминия приводит к образованию крупных неправильной формы включений, которые также снижают качество стали, но в большей степени, чем включения первого типа.

Оптимальное количество алюминия для раскисления зависит от химического состава стали и технологии ее выплавки. Были проведены эксперименты по определению оптимального количества добавок алюминия и силикокальция СК25 при раскислении стали 30 ХМЛ.

Для определения оптимального количества добавок алюминия сталь (плавка 1) из печи разливали в четыре ковша. В первый ковш вводили 0,01 % Al по массе, во второй – 0,05, в третий – 0,10 и в четвертый – 0,20 %. Из каждого ковша заливали клиновые пробы для контроля механических свойств.

Аналогичным образом определяли оптимальное количество добавок силикокальция СК25 (плавка 2). При этом в первый ковш вводили 0,1 % СК25, во второй – 0,15 %, в третий – 0,20 %, в четвертый 0,30 % СК25. Химический состав плавки 1 и 2 приведен в табл. 1. Результаты испытаний механических свойств представлены в табл. 2. В макроструктуре образцов выявлены подкорковые пузыри (табл. 3).

Таблица 1

Химический состав плавки, %

Номер плавки	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	W	B
1	0,27	0,38	0,32	0,040	0,029	0,95	0,16	0,21	0,16	0,013	0,017
2	0,32	0,61	0,40	0,034	0,030	1,23	0,14	0,22	0,14	0,010	0,013

Путем структурного анализа установлено, что микроструктура всех образцов в термообработанном состоянии состоит из сорбита отпуска с твердостью 207 НВ. Вид и распределение сульфидных включений в микроструктуре образцов приведен в табл. 4.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. По механическим свойствам практически все образцы соответствуют требованиям ТУ 26–16–162–85. Однако образец, отлитый с добавкой 0,01 % Al, по величине ударной вязкости не соответствует требованиям ТУ ($KCU_{cp} = 0,285 \text{ МДж/м}^2$, вместо минимального значения 0,30).

Из сталей, полученных следующими способами раскисления: 1–1, 2–1, 2–2, 2–3 и 2–4, не удалось изготовить образцы для испытаний на растяжение вследствие наличия подкорковых пузырей.

2. При раскислении силикокальцием ударная вязкость значительно повышается (см. табл. 2).

3. Добавка 0,05 % Al устраняет появление подкорковых пузырей в отливке, в то время как добавка даже 0,3 % силикокальция СК25 не позволяет полностью их устранить.

4. Добавка 0,2 % Al приводит к формированию остроугольных сульфидных включений третьего типа, наиболее неблагоприятных с точки зрения трещиностойкости.

Таблица 2

Результаты испытаний механических свойств

Способ раскисления*	Номер образца	Предел, МПа		Относительное		Ударная вязкость (при -60 °С) КСУ, МДж/м ²
		прочности σ_B	текучести $\sigma_{0,2}$	удлинение δ , %	сужение ψ , %	
1-1	1	-	-	-	-	0,32
	2	-	-	-	-	0,25
1-2	1	670	452	21,2	57,5	0,38
	2	-	-	-	-	0,40
1-3	1	673	454	24,4	51,7	0,51
	2	-	-	-	-	0,51
1-4	1	683	461	23,2	48,7	0,53
	2	-	-	-	-	0,63
2-1	1	-	-	-	-	0,89
	2	-	-	-	-	0,94
2-2	1	-	-	-	-	0,70
	2	-	-	-	-	0,78
2-3	1	-	-	-	-	0,92
	2	-	-	-	-	0,92
2-4	1	-	-	-	-	1,01
	2	-	-	-	-	0,96

* Первая цифра обозначает: 1 – присадка алюминия, 2 – присадка СК25; вторая цифра – порядок нарастания количества вводимой присадки

Таблица 3

Наличие и расположение подкорковых пузырей в макроструктуре

Способ раскисления	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
Глубина проникновения подкорковых пузырей, мм	До 5	Нет	Нет	Нет	До 7,5	До 6,5	До 6,5	До 3

Добавки силикокальция в любых исследованных количествах обеспечивают формирование благоприятного первого типа сульфидных включений – глобулярных, разориентированно расположенных в металлической матрице.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что при раскислении стали 30ХМЛ оптимальными являются добавки алюминия в количестве 0,05–0,10 % по массе.

Добавление до 0,3 % силикокальция при раскислении стали 30ХМЛ неэффективно. Рекомендуется провести исследования по вводу силикокальция в предварительно раскисленный алюминием расплав с определением их оптимальных количеств.

Таблица 4

Влияние способа раскисления на вид и распределение сульфидных включений в стали

Способ раскисления	Вид и распределение сульфидных включений
1–1	Глобулярные и неправильной формы, разориентированного расположения
1–2	Глобулярные и неправильной формы, ориентированные по границам зерен
1–3	Глобулярные и неправильной формы, ориентированные по границам зерен
1–4	Неправильной и остроугольной формы, ориентированные по границам зерен
2–1	Глобулярные и неправильной формы, разориентированного расположения
2–2	Укрупненные глобулярные и неправильной формы, разориентированного расположения
2–3	Укрупненные глобулярные, разориентированного расположения
2–4	Глобулярные сложного состава, разориентированного расположения

Литература

1. Солнцев Ю. П., Андреев А. К., Гречин Р. И. Литейные хладостойкие стали. – М.: Металлургия, 1991. – 176 с.
2. Шульте Ю. А. Электрометаллургия стального литья. – М.: Металлургия, 1970. – 223 с.