

ПОРЦИОННАЯ ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА НЕДОРАСКИСЛЕННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ ПОКОВОК

Д.В. Шабуров, О.К. Токовой, А.И. Зорин, В.Б. Захаров, Е.А. Фоминых

Основным дефектом крупных поковок являются трещины, обусловленные повышенным содержанием в металле водорода, так называемые «флокены» [1, 2]. В электросталеплавильном цехе № 2 ОАО «ЧМК» продолжают работы [3, 4] по уменьшению содержания водорода в жидкой стали при ее вакуумировании и внепечной обработке¹. При контроле содержания водорода в жидкой стали использовали экспресс-анализатор водорода «Гидрис» фирмы «Электро-Найт» [4].

Методика исследования

Металл выплавляли в 100-тонной дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) с трансформатором 60 МВА. При сливе стали из печи в ковш присаживали кремний и марганец из расчета получения в металле не более 0,3 % кремния и 0,63...1,39% марганца. Во время последующей обработки стали в агрегате «ковш-печь» металл доводили по химическому составу по всем элементам, кроме алюминия и титана. В коше наводили весь объем рафинировочного шлака и нагревали металл до температуры вакуумирования.

Металл вакуумировали в порционном вакууматоре фирмы «Вакметалл» при остаточном давлении в камере не более 200 Па в течение 70 циклов. В процессе обработки на АКОСе и вакууматоре металл продували в ковше аргоном через донные фурмы. Затем ковш с металлом вновь возвращали на АКОС, где проводили: окончательное раскисление алюминием, технологическую присадку ферротитана и корректировку температуры расплава, после чего ковш передавали на разливку.

Измерение содержания водорода в металле производили: в сталеразливочном ковше после слива стали из ДСП, после первой обработки на АКОСе и после завершения вакуумирования металла. На трех плавках этой серии измеряли содержание водорода в стали после второй обработки на АКОСе (нагрева и окончательного раскисления стали алюминием и титаном). Всего было изучено 116 плавков, стали марок 40ХГМ, 20Г, 45 и др., в том числе 5 плавков с определением водорода на всех стадиях внепечной обработки и 111 плавков с определением водорода в начале и конце вакуумирования стали.

Известно [5], что при вакуумной обработке нераскисленного металла получает развитие реакция взаимодействия углерода и кислорода с образо-

ванием пузырьков оксида углерода, при этом процесс дегазации металла протекает с большой скоростью и более эффективно. Однако попытки проводить этот процесс на полностью нераскисленном металле вызвали очень бурную реакцию в вакуум-камере, приводящую к забрызгиванию нагревательного электрода в вакуум-камере каплями металла и выходу его из строя. Поэтому для снижения интенсивности процесса обезуглероживания сталь предварительное раскисляли кремнием и марганцем. По данным [6], при температуре 1600 °С в равновесии с 0,25...0,30% Si при концентрации 0,6...1,3% Mn в железе содержится 0,007...0,008% кислорода. Расчет по уравнению [7]

$$[C][O] = 3,3 \cdot 10^{-6} P_{CO}$$

показал, что при давлении в вакуум-камере 133,3 Па равновесное с 0,2...0,4% углерода содержание кислорода существенно меньше фактического и составляет $8 \cdot 16 \cdot 10^{-6}$ %. Такая концентрация остаточного растворенного в металле кислорода вполне достаточна для протекания процесса вакуумного обезуглероживания и связанной с этим дегазации металла всплывающими пузырьками оксида углерода.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты опытных плавков представлены на рис. 1. Здесь сплошной линией обозначены усредненные данные плавков с вакуумной обработкой недораскисленного металла, а для сравнения штрихпунктирной линией - средние данные по 177 плавкам, обработанных по ранее использованной технологии [3, 4] с вакуумированием глубоко раскисленного металла.

В связи с тем, что при использовании технологии с вакуумированием недораскисленного металла при сливе из печи присаживаются кремний- и марганецсодержащие ферросплавы, то содержание водорода в металле после слива из ДСП на 0,00005...0,00007% выше (см. рис. 1), однако это полностью компенсируется в дальнейшем при вакуумировании стали: среднее содержание водорода в ковшевой пробе после вакуумирования по данным 111 промышленных плавков составляет 0,000237 %, а по результатам 5 плавков с постадийным отбором проб (табл. 1) - 0,0002 %. Это на 0,00009...0,00012 % меньше, чем при вакуумировании раскисленного металла, где среднее содер-

¹ В работе принимали участие Н.И. Воробьев, Д.С. Зув.

жание водорода после вакуумирования по данным 177 плавков составило 0,000325 % (см. рис. 1).

На трех опытных плавках этой серии производили измерение содержания водорода в металле после нагрева и окончательного раскисления стали на АКОСе (табл. 2).

Видно, что за этот период в металл поступает ~0,00002 % водорода и приблизительно еще столько же - при разливке по изложницам [3]. В результате технология с вакуумированием недора-

скисленного металла обеспечивает содержание водорода в среднем 0,00025 %.

Кроме того, такая технология обеспечивает большую стабильность процесса удаления водорода из стали. На рис. 2 представлен частотный график результатов плавков, проведенных с вакуумированием недораскисленного (1) и глубоко раскисленного (2) металла. Массив из 288 плавков убедительно свидетельствует о том, что предложенная технология позволяет получить не только

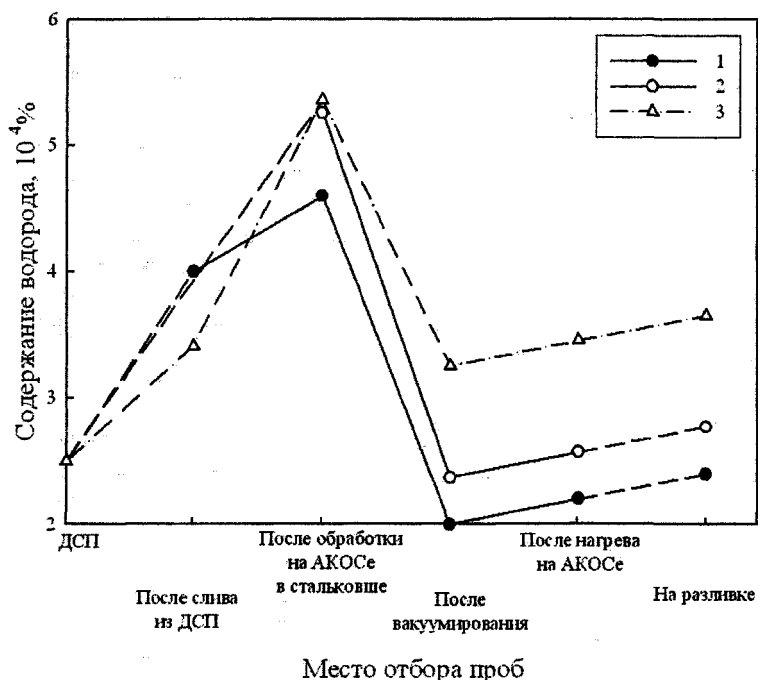


Рис. 1. Изменение содержания водорода в процессе внепечной обработки жидкой стали: 1 – опытная серия плавков; 2 – средние данные промышленных плавков; 3 – плавки с вакуумированием глубоко раскисленного металла

Таблица 1

Результаты плавков с поэтапным анализом водорода в металле

Условный номер плавки	Содержание водорода, 10 ⁴		
	после слива из ДСП	после АКОС	после вакуумирования
1	3,7	4,5	2,4
2	4,8	5,3	2,1
3	3,5	3,8	1,7
4	4,2	4,6	1,8
5	3,8	5,0	2,1
Среднее содержание	4,0	4,6	2,0

Таблица 2

Изменение содержания водорода после раскисления

Условный номер плавки	Содержание водорода, 10 ⁴ %		
	после вакуумирования	после окончательного раскисления на АКОСе	Δ[H]
1	2,8	3,0	0,2
2	2,9	3,0	0,1
3	1,3	1,5	0,2
Среднее			0,17

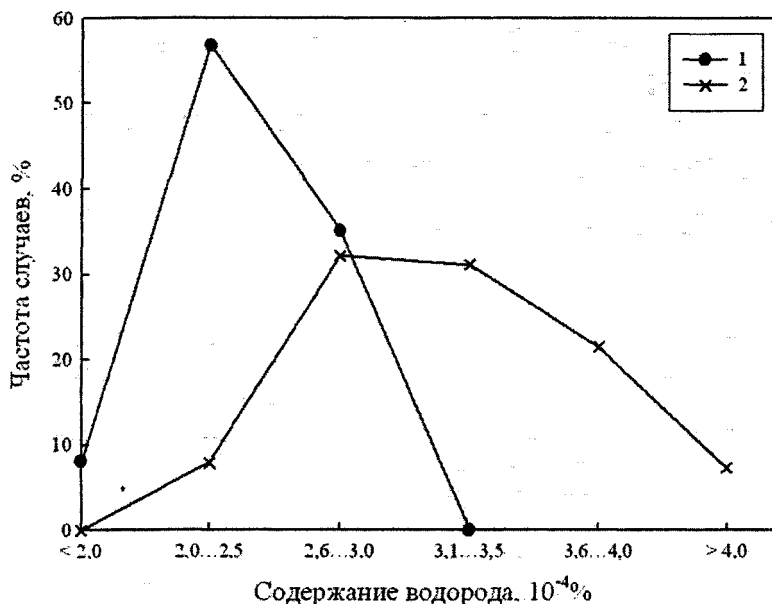


Рис. 2. Частотный график плавки с вакуумированием недораскисленного (1) и глубоко раскисленного (2) металла

более низкое содержание водорода (все плавки содержали менее 0,0003 %, а 8,1 % плавки - менее 0,0002 %), но и меньший разброс данных (на ~ 92 % плавки содержание водорода в ковшевой пробе лежало в пределах 0,0002...0,0003 %).

Выводы

Разработана технология вакуумной обработки недораскисленной легированной стали, предназначенной для производства крупных поковок. Технология обеспечивает содержание водорода в ковшевой пробе не более 0,0003 % и большую стабильность результатов вакуумной обработки легированной стали.

Литература

1. Морозов А.Н. Водород и азот в стали. — М.: Металлургия, 1968. - 281 с.

Гельд П.В., Рябов Р.А. Водород в металлах и сплавах. - М.: Металлургия, 1974. - 272 с.

Влияние содержания водорода в металле на качество крупных поковок / Н.И. Воробьев, О.К. Токовой, А.В. Мокринский и др. // Известия вузов. Черная металлургия. - 2003. - №3. - С. 17-19.

2. Поведение водорода при внепечной обработке легированной стали для крупных поковок / Н.И. Воробьев, О.К. Токовой, А.И. Зорин и др. // Известия вузов. Черная металлургия. - 2005. - № 7. - С. 29-31.

3. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Ч. II. - М: Металлургия, 1984. - 414 с.

4. Куликов НС. Раскисление металлов. - М.: Металлургия, 1975. - 504 с.

5. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Ч. I. - М: Металлургия, 1973. - 312 с.