

5. Степанов А.А., Зинченко С.Д., Ламухин А.М. и др. Освоение технологии производства сталей с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства. – БНТиЭИ "Черная металлургия". – Москва, "Черметинформация". – 2005. – № 4. – С. 31–33.

6. Роберт Робей, Марк Уарк Уайтхед. Внедоменная обработка чугуна с учетом конкретных производственных условий – Журнал "МРТ. Металлургическое производство и технология металлургических процессов". – Москва. ИД "Руда и металлы". – 2014. – № 1. – С. 16–24.

УДК 669.182.71

**С. Г. Мельник¹, В. И. Бондарь¹, В. О. Синельников², Ю. В. Чудинов¹,
Ю. В. Хавалиц¹**

1 – ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

2 – Zakłady Magnezytowe «ROPCZYCE» S.A., Ropczyce, Poland

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ ДЛЯ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Анализ эксплуатации труб большого диаметра (ТБД) для магистральных газопроводов свидетельствует о возможности появления хрупких разрушений металла в трубах с образованием протяженных трещин. Трещины образуются под воздействием энергии сжатого газа в местах локального послабления свойств металла. Устранение возможных разрушений рассматривалось в направлении повышения прочности стали и увеличения толщины стенок трубы.

За столетие эксплуатации ТБД требования к материалу труб постоянно повышались. Увеличение диаметра труб с 400 до 1620 мм способствовало росту годового объема прокачиваемого по магистральным газопроводам газа с 80 до 52000 млн м³. При этом ТБД должны были выдерживать давление от начального в 66 бар (6,6 МПа) до 120 бар (12 МПа) [1]. Требования к механическим свойствам штрипсовой стали для ТБД изложены в стандартах API 5L Американского института нефти (API) Соединенных Штатов Америки. Уровень прочностных характеристик стали не должен быть менее: предел прочности $\sigma_B = 685$ МПа, предел текучести $\sigma_T = 559$ МПа. Основным средством для улучшения свойств штрипсовой стали остается её химиче-

ский состав. С целью улучшения качества металла для труб применяют его микролегирование, добавляя в жидкую сталь Nb, Mo, Ni, Ti и др. элементы и/или их лигатуры. Кроме этого в литературе отмечается значительная роль бора для улучшения эксплуатационных свойств и снижения расхода дорогостоящих легирующих, в частности возможность увеличения предела текучести σ_T на 70–100 МПа.

Для обеспечения пластических свойств и улучшенной свариваемости штрипсовых сталей для ТБД в литературе рекомендуется введение достаточно жестких требований по содержанию вредных примесей в металле: концентрации серы 0,001 % и фосфора 0,015 % [2]. Желательное содержание азота составляет не более 0,006 %. Пониженные концентрации кислорода и серы в стали должны обеспечить снижение НВ, в основном оксидов и сульфидов. Для предупреждения появления хрупких разрушений в металле вводятся специальные испытания доли вязкой составляющей в изломе образцов DWTT. Результатом испытаний DWTT является доля хрупкой и вязкой составляющих в изломе образца металла, определяемая визуально по наличию «волокна». Для стали X150 доля вязкой составляющей должна составлять не менее 85 %. Сочетание характеристик прочностных и пластических свойств в низколегированных сталях эффективнее всего обеспечивается измельчением зерна [3].

Основы технологии, обеспечивающей получение заданных свойств штрипсового металла, изложены в работе [4]. Сталь повышенного качества выплавляют в конвертере продувкой технически чистым кислородом с раскислением и легированием в сталеразливочном ковше, с последующей внепечной обработкой и разливкой на МНЛЗ. Углеродистый полупродукт на выпуске из конвертера в сталеразливочный ковш обрабатывают активным рафинировочным шлаком, который формируют за счет тепла конвертерной плавки из твердой шлакообразующей смеси ТШС ($\text{CaO}+\text{CaF}_2$) с примерным соотношением $\text{CaO}:\text{CaF}_2$ как 3:1. Дополнительная отсечка конечного конвертерного шлака во время выпуска углеродистого полупродукта из конвертера в сталеразливочный ковш позволила достигнуть суммарной степени десульфурации стали от 70 до 90% серы. Сталь обрабатывают продувкой нейтральным газом с расходом не менее $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ с целью усреднения химического состава и улучшения рафинирования стали. Для глобуляризации неметаллических включений следует осуществлять модифицирование стали силикокальцием SiCa (марок СК-20, СК-25 и СК-30) путем вдувания порошка с помощью пневмопитателей и/или трайб-аппаратом в виде начиненной SiCa проволоки с расходом SiCa до 2 кг/т стали. Дан-

ная технологическая операция дополнительно снижает содержание серы в стали на 25 %.

Применение дополнительного легирования и внепечной обработки стали позволит улучшить эксплуатационные свойства штрипсовой стали для ТБД категорий X100, X120 и X150 по требованиям Американского института нефти.

Список литературы

1. *Хайстеркамп Ф.* Ниобийсодержащие низколегированные стали // Ф. Хайстеркамп, К. Хулка, Ю.А. Матросов и др. – М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ». – 1999 г. – 94 с.
2. Niobium Information 13/97. CBMM/NPC, Düsseldorf (Germany), 1997.
3. *Hall E.O., Petch N.J.* // JISI, 1953. – 1953. - V. 174. – P. 25 – 28.
4. Технология производства конвертерной стали с полиреагентным рафинированием / Н.И. Тарасевич, С.Г. Мельник, Р.Я. Якобше и др. – Киев. – Информлитъе, 2010. – 262 с.

УДК 669.168

С. Г. Мельник

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

ПРОИЗВОДСТВО БОРСОДЕРЖАЩИХ НЕЙТРОНОЗАХВАТНЫХ СТАЛЕЙ В БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ И РАЗЛИВКОЙ НА МНЛЗ

Энергетика развивается по различным перспективным направлениям: совершенствование тепловых и гидроэлектростанций, использование солнечной энергии и энергии ветра, водородной энергетики и др. Отдельным и, возможно, менее затратным направлением является использование ядерной, или атомной, энергии. Вместе с тем, процессы деления ядра, осуществляемые в ядерных реакторах, представляют определенную опасность для людей из-за радиоактивного излучения – выделяющихся α -, β - и γ - лучей. Поэтому разработаны и применяются различные способы защиты от нежелательного воздействия излучений. Защитную роль может выполнять наряду с другими материалами сталь, тем более, что конструкционные матери-