

2. Разработка и моделирование новых конструктивных решений водоохлаждаемых элементов высокомошных ДСП/ Павличевич М., Тищенко П.И., Тимошенко С.Н., Торшин А.М.//Сб.трудов Конгресса сталеплавыльщиков России — М.:1997. — С 82–83.

© Тищенко П.И., 1999.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОСОБО ЧИСТОЙ СТАЛИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ТРАНСПОРТА

ОВЧИННИКОВ Н.А. (ДОННИИЧЕРМЕТ), РАЗУМНЫЙ П.К., ШЕБАНЕЦ Э.Н.  
ГАЖУРА М.П., (ОАО «МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ ИМ. ИЛЬИЧА»),  
КОВАЛЁВ А.Г. (ДОНГТУ)

*Исследовано влияние химической и структурной неоднородности на служебные свойства металла для газонефтепроводных труб. Установлено, что при содержании кальция 0,003–0,005% содержание серы и фосфора необходимо регламентировать для снижения склонности металла к водородному растрескиванию.*

Для производства труб из высокопрочных сталей необходим штрипс с минимальной загрязненностью неметаллическими включениями, отсутствием дефектов типа «несплошность» и стабильным уровнем механических свойств. Существующая на комбинате им. Ильича технология производства штрипса низколегированных марок стали из непрерывно-литых слябов не исключает поставку листов с наличием микронесплошностей площадью до  $100 \text{ см}^2$  и скопление микронесплошностей площадью от 7 до  $50 \text{ мм}^2$  в зоне осевой структурной и химической неоднородности [1, 2].

Структурная и химическая неоднородность в листах стали марки 09Г2ФБ заключается в наличии в осевой зоне структуры, отличной от основной структуры листа. Она переменной ширины, сплошная или переходящая в несколько полос с протяженными строчечными скоплениями неметаллических включений карбонитридов состава (Ti, V, Nb)·(C, N) кристаллической формы и пластинчатых сульфидов марганца (рисунки 1; 2, а, б). Химическая неоднородность осевой зоны заключается в обогащении металлической матрицы основной зоны углеродом, марганцем, фосфором и кремнием (рисунок 3), а также ликвиацией марганца, серы, титана, ванадия, ниобия, углерода и азота в качестве неметаллической фазы (рисунки 1, 2).

Осевая структурная и химическая неоднородность в виде бейнитной структуры, строчечных скоплений карбонитридов и пластинчатых сульфидов марганца способствует накоплению водорода на границе раздела сульфид-матрица, карбонитрид-матрица, что может инициировать расслоение листа по осевой зоне (рисунок 4), причем фрактография расслоя листа практически не имеет вязкой составляющей разрушения.

Уменьшение массовой доли серы с целью устранения осевой зоны и изменения формы сульфидной фазы до 0,003% приводит к снижению распределения числа сульфидов марганца в осевой зоне (таблица 1), но не влияет существенно на ширину осевой зоны.

Фосфор влияет на ширину осевой зоны листа, которая уменьшается с 400 мкм до 40 мкм при снижении массовой доли фосфора с 0,022% до 0,016% (рисунок 3). В

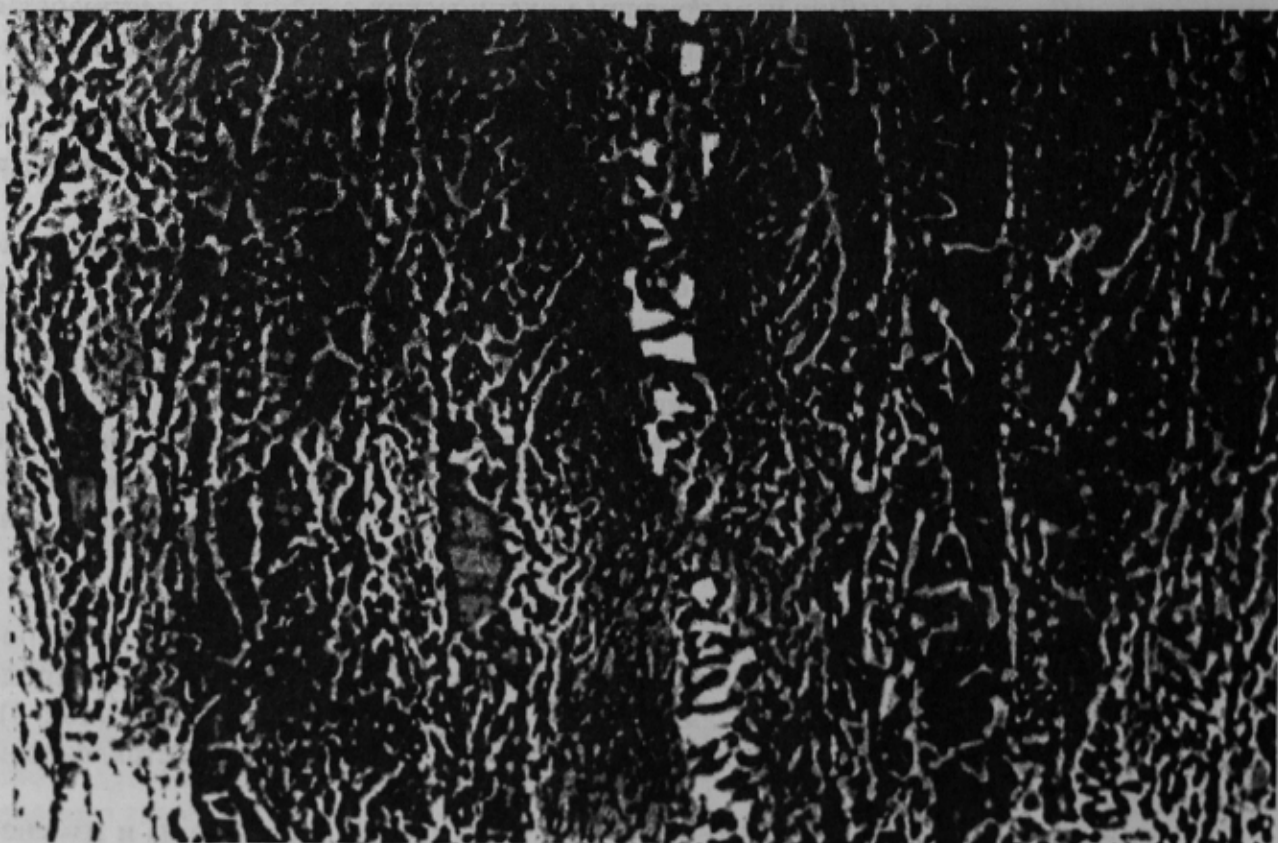
листах с массовой долей фосфора 0,016% наблюдаются участки в осевой зоне свободные от структурной и химической неоднородности.

Снижение массовой доли серы до 0,003%, а также фосфора до 0,016% не приводит к изменению морфологии сульфидной фазы в осевой зоне листов (рисунки 3; 2, а, б). Модифицирование стали кальцием изменяет форму сульфидной фазы в осевой зоне с пластинчатой на глобулярную (рисунки 2, в, г). Сульфиды глобулярной формы не являются ловушками для водорода и уменьшают анизотропию вязких свойств.

**Таблица 1** - Влияние массовой доли серы в металле на распределение неметаллических включений в осевой зоне штрипса.

Распределение неметаллических включений при массовой доле серы, %				
Характеристика включений	0,003	0,005	0,007	0,009
Число включений на 15 мм длины измерений	46	65	70	110
Общая длина сульфидов марганца в мкм на 1 мм длины	213	370	390	453

Поверхность расслоения, которую занимают сульфиды, составляет до 15% площади в дефектных участках толстых листов. Можно предположить, что одной из



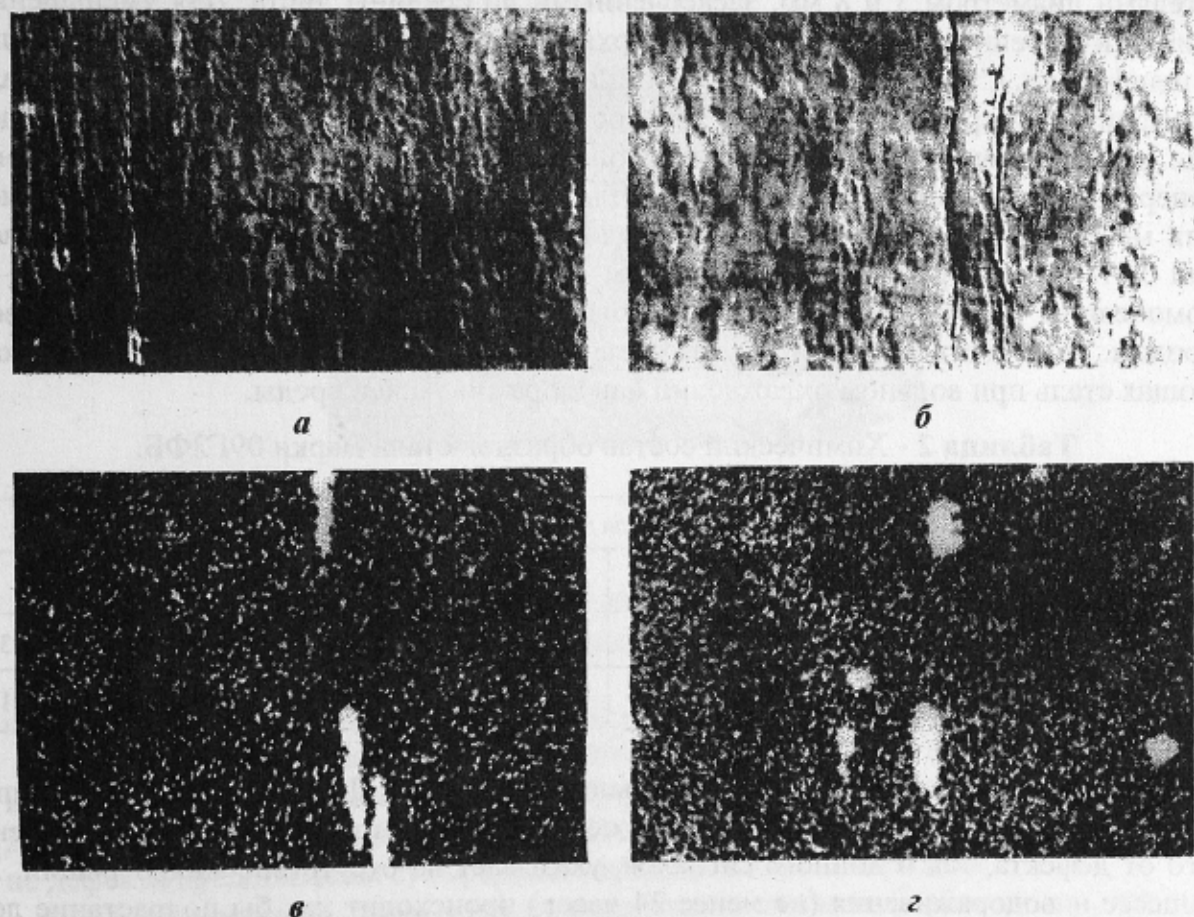
**Рисунок 1** – Микроструктура основной зоны листа,  $\times 1000$

главных причин сульфидного расслоения является выделение свободного водорода при охлаждении листов после прокатки, который, попадая в поры и микронесплош-

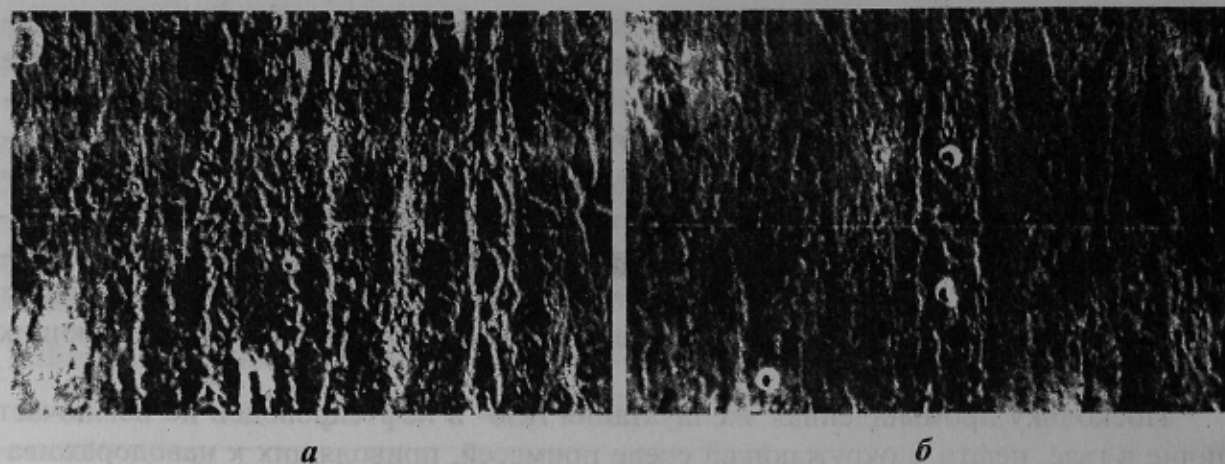
ности, при образовании молекулярного соединения (с резким возрастанием давления) приводит к растрескиванию в осевой зоне листа. Для уменьшения влияния водорода на образование дефектов в листах на металлургических комбинатах «Азов-сталь» и им. Ильича проводят противоблокенную обработку, которая включает замедленное охлаждение листов от температур не ниже  $450^{\circ}\text{C}$  и до температур не выше  $100^{\circ}\text{C}$ . При этом, несмотря на наличие в осевой зоне листов повышенного количества сульфидных включений и пор, образование несплошностей по типу сульфидного растрескивания не происходит, так как замедленное охлаждение способствует удалению водорода и, как следствие, снижению влияния структурных составляющих и термических напряжений.

Поскольку промышленная эксплуатация газо- и нефтепроводов не исключает наличие в газе, нефти и окружающей среде примесей, приводящих к наводороживанию стали, представляется целесообразным изучить поведение дефектов типа «несплошность» при насыщении водородом и последующей знакопеременной нагрузке, имитирующих поведение трубы при эксплуатации. Исследовали листы толщиной 16,8 мм стали марки 09Г2ФБ текущего производства комбината им. Ильича, прошедшие противоблокенную обработку. Химический состав исследованного металла приведен в таблице 2.

Для исследования использовали половинки образцов после испытаний на



**Рисунок 2** – Пластинчатые сульфиды марганца в осевой зоне структурной и химической неоднородности листов с массовыми долями фосфора: *а* — 0,022%, *б* — 0,016% и распределение серы в неметаллической фазе осевой зоны: *в* — немодифицированной, *з* — модифицированной кальцием стали



**Рисунок 3** – Микроструктура осевых зон листов с массовыми долями фосфора: *a* — 0,022%, *б* — 0,016%,  $\times 400$

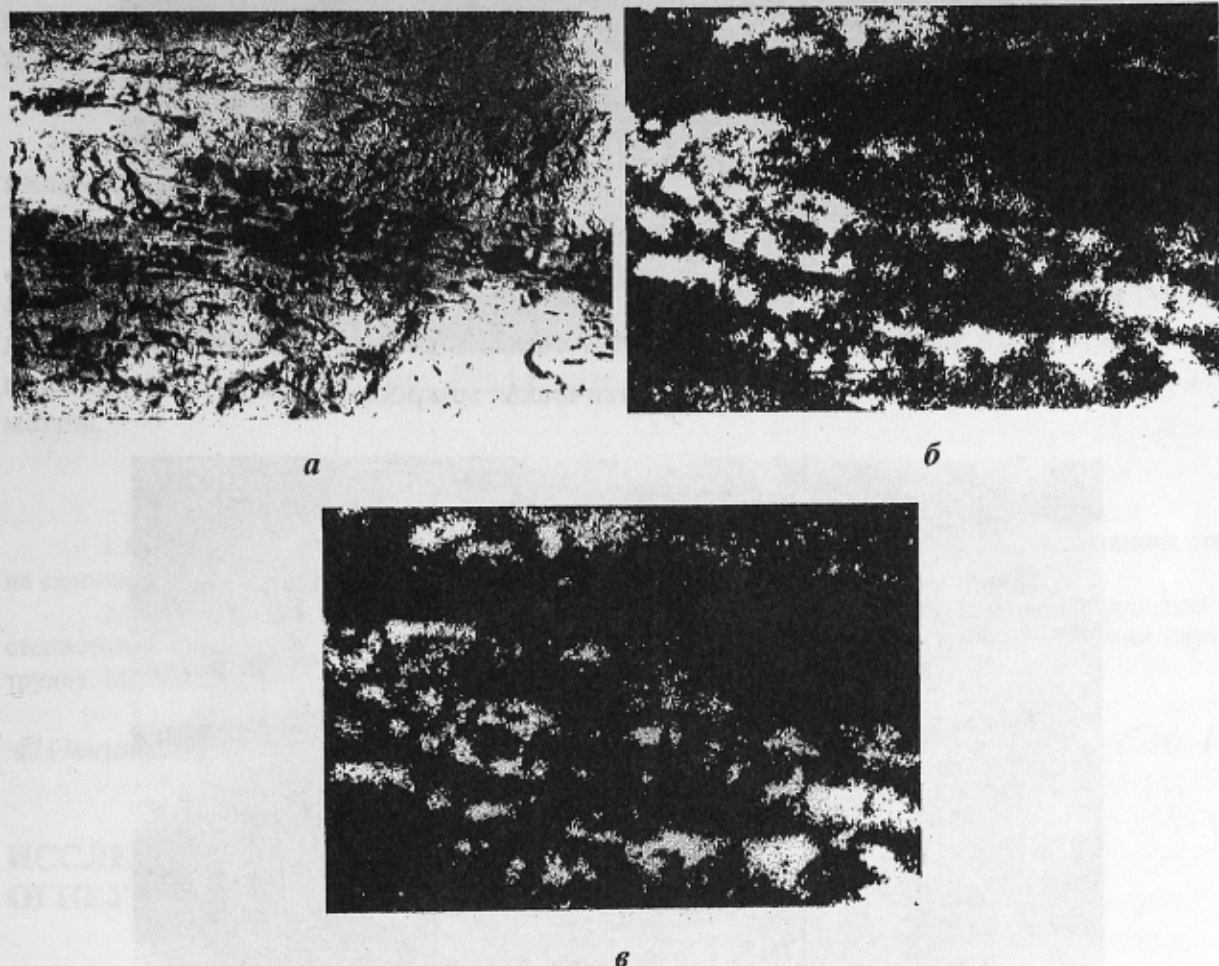
ДВТГ. Ультразвуковой контроль проводили согласно ГОСТ 22727-88 на дефектоскопе УСИП-11 эхо методом с отдельно совмещенным датчиком при частоте 5 МГц после предварительной настройки на контрольном образце с искусственными отражателями диаметром 3 и 8 мм, засверленными до середины листа. Для уменьшения ошибки измерений за счет окалины поверхности образцов перед УЗК предварительно шлифовали. Структуру толстых листов исследовали методами оптической металлографии на микроскопе «Неофот-30», состав неметаллических включений определяли на растровом электронном микроскопе JSM-T300 с использованием волнового и энергодисперсионного спектрометра. Для насыщения образца водородом применяли методику электрохимического наводороживания. В качестве среды использовали 0,1%-й раствор  $H_2SO_4$  с добавлением 1,5 г/л стимулятора наводороживания — тиомочевины [2], что позволило имитировать водные растворы насыщения сероводородом. Плотность катодного тока составляла  $0,8 \text{ кА/м}^2$ , анодом служила нержавеющая сталь при водяном охлаждении наводороживающей среды.

**Таблица 2** - Химический состав образцов стали марки 09Г2ФБ.

Массовая доля элементов, %											
C	Mn	Si	S	P	Al	Mo	V	Nb	N	Ti	Ca
0,10	1,69	0,38	0,007	0,021	0,022	0,013	0,056	0,034	0,008	0,013	0,003
0,11	1,54	0,27	0,005	0,02	0,02	0,007	0,065	0,03	0,006	0,012	0,001

УЗК показал, что при чувствительности контроля ДЗЭ и Д8Э дефекты типа «несплошность» залегают, в основном, в осевой зоне листов. Наличие, как отраженного от дефекта, так и донного сигналов, указывает на отсутствие микротрещин. В процессе наводороживания (не менее 24 часов) происходит как бы подрастание дефектов, на что указывает уменьшение амплитуды сигнала от дефекта. Но, если после вылеживания (не менее 24 часов) дефекты, обнаруженные при чувствительности УЗК ДЗЭ, приходят в исходное состояние, то дефекты, обнаруженные при чувствительности УЗК Д8Э остаются в подросшем состоянии. Этот факт подтвердился при многократном (не менее 3-х циклов) наводороживании и вылеживании.

Для изучения поведения дефектов при знакопеременной нагрузке, имитирующей условия работы трубы, наводороженные образцы испытывали на универсальной испытательной машине ЗД 10/90 под давлением 7,5 МПа. Контроль ультразвукового сигнала при этом проводился после каждых 50-ти циклов испытаний. И, если для дефектов Д8Э после 200 циклов испытаний отсутствие данного сигнала указывало на их раскрытие, то есть образование микротрещины, то дефекты Д3Э лишь незначительно подрастали и не изменялись даже до 400 циклов испытаний, что



**Рисунок 4** – Микрофрактография расслоя (а),  $\times 200$ ; распределение марганца в  $MnK\alpha$  лучах (б); распределение серы в  $SK\alpha$  лучах (в)

не исключает их раскрытия при длительных циклических испытаниях [2].

Металлографический анализ подтвердил данные УЗК. Так дефект Д3Э после наводороживания и циклических испытаний не имеет микротрещин (рисунок 5), а Д8Э — это сплошная микротрещина (рисунок 6). Неметаллические включения в зоне дефекта представлены сульфидами марганца и карбонитридами.

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что развитие химической и структурной неоднородности непрерывно-литого сляба определяют образование в катаном металле микропор и микротрещин, количество и распределение которых коррелирует с шириной и протяженностью ликвационной зоны, а также содержанием в ней сульфидов марганца и фосфора. Применение противоблоксной обработки снижает склонность зоны осевой ликвации готового металла к развитию в ней трещин на стадии УЗК и сдаточных испытаний листа. Однако



Рисунок 5 – Дефект Д3Э, оптическая микроскопия,  $\times 800$

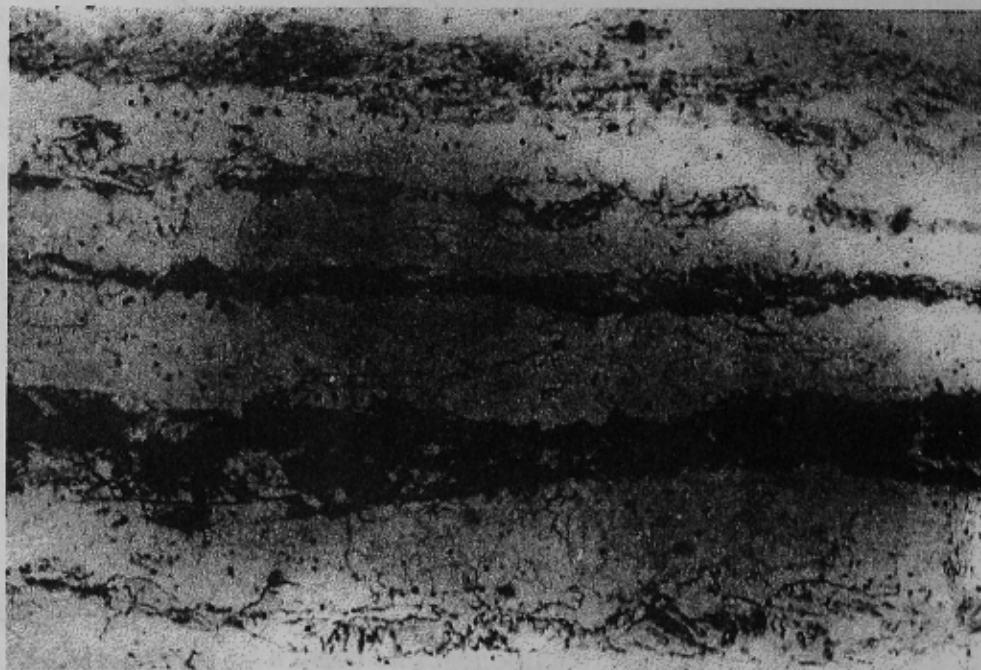


Рисунок 6 - Дефект Д8Э, оптическая микроскопия,  $\times 800$

противофлокенная обработка не устраняет полностью склонность металла к наводороживанию и его дальнейшему растрескиванию при эксплуатации в агрессивных средах.

Собственный и мировой опыт производства металла газонефтепроводного сортамента, отвечающего современным требованиям, свидетельствует о необходимости дальнейшего снижения в нем содержания серы и фосфора для подавления ликвационных явлений в листе, соответственно менее 0,003% и 0,01%, а обеспечение содержания кальция в готовом металле на уровне 0,003–0,005% позволит гарантировать глобуляризацию сульфидных включений по всему сечению листа.

Авторами для решения этих задач на комбинате им. Ильича разработана программа производства особо чистой стали, которая предусматривает:

- глубокую десульфурацию и дефосфорацию чугуна порошковыми проволоками со специальными наполнителями, обеспечивающими необходимую консистенцию шлака для его скачивания;
- использование сталеразливочных ковшей с высокоглиноземистой футеровкой;
- глубокое раскисление стали и покровного шлака алюминием в сталеразливочном ковше до содержания алюминия в металле перед обработкой порошковыми кальцийсодержащими проволоками 0,05% и содержания окислов железа в шлаке не более 3%;
- продувка металла аргоном не менее 15 минут;
- защиту металла при разливке аргоном и применение шлакообразующих смесей с минимальным содержанием окислов железа и марганца;
- микролегирование стали кальцием в промежуточном ковше МНЛЗ.

В результате исследований разработана технологическая схема производства особо чистой стали, отвечающей уровню требований мировых стандартов. Она предусматривает выпечную обработку чугуна и стали порошковой проволокой со специальными наполнителями. Регламентируются некоторые технологические параметры.

### Список литературы

1. Коваль В.П., Хитаришвили М.Г., Асадцев П.С. К вопросу об ускоренных испытаниях сталей на склонность к сероводородному растрескиванию. — ФХММ, 1974, № 2, С.113.
2. Гажура М.П., Зайцев В.М. Фрактографические исследования усталостного разрушения толстолистовой стали. — В кн. Повышение качества толстого листа: Тематический сборник научных трудов. М., Металлургия, 1984, С.97–100.

© Овчинников Н.А., Разумный П.К., Шебаниц Э.Н., Гажура М.П., Ковалев Г.М., 1999.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА С ОГНЕУПОРОМ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНЫХ СТАКАНОВ

ШЕВЧЕНКО В.П., САМБОРСКИЙ М.В. (ДОНГТУ)

*На основании экспериментальных данных описан процесс взаимодействия жидкого металла с огнеупором разливочных стаканов и предложена схема, поясняющая их затягивание*

При разливке стали, в результате длительного контакта жидкого металла с огнеупорным материалом сталеразливочных стаканов, происходит взаимодействие компонентов, содержащихся в металле, с окислами, составляющими огнеупор. Это может в одном случае вызывать затягивание стаканов, в другом — их размывание.

Для выявления причин, вызывающих это явление, моделировали взаимодействие растворенных в жидком металле компонентов с окислами огнеупора методом ввода радиоактивного изотопа, тугоплавкого индикатора и алюминия с последующим отбором и анализом контактных зон огнеупоров, остатков металла в виде литников, а также оценкой характера разливки.

В качестве радиоактивного изотопа использовали изотоп циркония-95, обладающего гамма-излучением с энергией 0,738 Мэв и бета-излучением с энергией 0,38