

РЗМ обладают значительным сродством к азоту, соизмеримым со сродством таких нитридообразующих элементов, как титан и цирконий. При вводе в жидкий металл РЗМ реализуют, в первую очередь, прочные связи с серой и кислородом; даже титан и цирконий не имеют такого высокого сродства к сере и кислороду, как РЗМ, и это позволяет им активно участвовать в образовании нитридов, особенно в области высоких температур. При температурах – 900–1100 °С изменение  $\Delta G_0$  образования нитридов у РЗМ составляет большую величину (порядка 225 кДж/моль РЗМ), но наличие в стали свободного алюминия (0,03–0,04 %), превышающего в десятки раз (с учетом значительной разницы в атомных массах) содержание РЗМ, не позволяет последним участвовать в процессах нитридообразования.

С фосфором РЗМ образует ряд соединений. Это позволяет устранять отрицательное влияние легкоплавких фосфоросодержащих фаз на свойства коррозионностойких и жаропрочных сталей и может быть реализовано только при высоких концентрациях РЗМ в металле. При вводе технологически приемлемых с точки зрения успешной разливки металла количеств РЗМ (0,1–0,2 %) в углеродистые и легированные стали взаимодействие РЗМ с фосфором остается спорным.

РЗМ связывают примеси цветных металлов в прочные химические соединения с высокими температурами плавления и обеспечивают устранение межкристаллитной низкотемпературной и высокотемпературной хрупкости.

В реальных растворах способность участия высокореакционных элементов с примесями, растворенными в стали, определяется двумя факторами: активностью примеси и элемента в железе, определяемой константой равновесия и связанной с ней изменением свободной энергии в результате их взаимодействия.

С жидким железом отклонение от идеальных растворов определяется коэффициентом активности, которое вычисляют с помощью параметров взаимодействия. Однако для реальных условий необходимо учитывать влияние на активность РЗМ также и других компонентов стали. Объем проведенных исследований не позволяет отобразить полностью состояние вопроса, однако имеющиеся данные представляют интерес для дополнительного учета влияния углерода, марганца, содержание которых существенно различается для разных марок стали.

#### Список литературы

- 1 **Ицкович, Г. М.** Раскисление стали и модифицирование неметаллических включений. – М. : Metallurgia, 1981. – 296 с.
- 2 **Мовенко, Д. А.** Совершенствование режимов обработки трубной стали церием / Д. А. Мовенко, Г. И. Котельников, А. Е. Семин // *Электromеталлургия*. – 2012. – № 8. – С. 7–12.
- 3 *Инновационное развитие электросталеплавильного производства / А. Г. Шалимов [и др.]*. – М. : Metallurgizdat, 2014. – 306 с.
- 4 Влияние редкоземельных металлов на качество трубной стали / В. В. Кисиленко [и др.] // *Электromеталлургия*. – 2007. – № 4. – С. 16–20.
- 5 **Бусиф, А.** Повышение качества конструкционной стали за счет совершенствования технологии рафинирования с применением РЗМ : дис. ... канд. техн. наук : 61:85-5/3923 / А. Бусиф. – М., 1985. – 125 с.

УДК 629.4:669.18

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИКАТОРОВ**

*Н. К. ТУРСУНОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Рост требований к свойствам стали, как правило, опережает развитие технологических приемов, направленных на повышение чистоты металла. Вследствие этого необходим дальнейший поиск эффективных способов рафинирования, легирования и модифицирования стали. В связи с этим разработка новых технологических приемов выплавки и внепечной обработки, позволяющих эффективно рафинировать и модифицировать сталь, является актуальной задачей.

В настоящее время при производстве стали широко применяют порошковую проволоку (ПП), обладающую высоким сродством к кислороду, сере, азоту, цветным металлам и другим примесям. Наиболее эффективно использование ПП совместно с твердыми шлаковыми смесями (ТШС). При этом в каждом конкретном случае необходимо уделить внимание как подбору ТШС, так и уровню окисленности металла перед введением ПП. Влияние ПП проявляется как в снижении содержания вышеотмеченных примесей в стали, так и в переводе их из активных форм в пассивные, что способствует очищению границ зерен и обеспечивает формирование мелкодисперсной дендритной структуры. Очищая сталь от вредных примесей, ПП улучшает ее литейные свойства, жидкотекучесть, условия заливки форм и трещиностойкость отливок, а также снижает анизотропию механических характеристик стали. Высокая эффективность влияния ПП на свойства стали обусловлена ее благоприятным воздействием на состав, тип, форму, количество и равномерность распределения образующихся неметаллических включений, существенным улучшением макро- и микроструктуры заготовки, снижением ее физической и химической неоднородности, обеспечением повышенной плотности и дисперсности кристаллической структуры во всех зонах литой заготовки, в том числе малого сечения.

Настоящая работа посвящена разработке новых технологических приемов выплавки и внепечной обработки, в частности, совершенствованию процессов рафинирования и модифицирования стали в сталеразливочном ковше с использованием ПП.

Исходный металл готовили в индукционной тигельной печи вместимостью 6 т. После проведения процесса десульфурации в индукционной тигельной печи, частично снимали восстановительный шлак и металл выпускали в ковш.

С целью повышения эксплуатационной надежности и улучшения механических свойств, сталь в ковше обрабатывали алюминием Al, силикокальцием СК и ПП по четырем различным вариантам, с продувкой аргоном без оголения металла в течение 5 минут. Химический состав стали 20ГЛ, принятый для исследования и термодинамических расчетов, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав стали марки 20ГЛ

Элемент	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Ni	Al
Содержание по массе, %	0,206	1,296	0,427	0,015	0,019	0,162	0,177	0,121	0,026

Результаты плавки с использованием ПП представлены в таблице 2. Начальное содержание серы в металле перед обработкой ПП составляло 0,015 %.

Таблица 2 – Основные результаты плавки при использовании ПП для десульфурации стали 20ГЛ

Вариант	$Q_R$ , мас. %	$\tau_{\text{выд}}$ мин	[S] <sub>кон</sub> , %	[O] <sub>Σ</sub> , %	[Al] <sub>кон</sub> , %	[V] <sub>кон</sub> , %
1	Al – 0,1	5	0,015	0,0095	0,026	–
2	Al – 0,1; СК 30 – 0,1	5	0,014	0,0089	0,030	–
3	Al – 0,1; ПП – 0,1	5	0,011	0,0075	0,044	0,025
4	Al – 0,1; СК30 – 0,1; ПП – 0,1	5	0,008	0,0016	0,056	0,045

Как видно из данных, приведенных в таблице 2, в зависимости от режима обработки расплава содержание серы в металле снижалось от исходных значений ( $[S]_{\text{нач}}$ ) 0,015 % до 0,011–0,008 %. Содержание общего кислорода в металле, обработанном по варианту 4, в 5,9 раза меньше, чем при использовании технологии по варианту 1 (традиционной для данного предприятия).

Результаты исследования механических свойств стали 20ГЛ после нормализации приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства стали марки 20ГЛ

Вариант обработки	Категория свойств				
	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> (при –60 °С)
	не менее				
ГОСТ	343	510	18,0	30,0	200
1	387	534	21,0	37,3	210
2	355	527	24,2	35,2	234
3	402	537	24,0	37,9	417
4	404	534	24,2	38,1	540

Как видно из данных, приведенных в таблице 3, наиболее высокие значения механических свойств получены при обработке металла по варианту 4. В особенности стоит отметить повышение ударной вязкости в 2,7 раза, по сравнению с технологией по базовому варианту (БВ).

Это объясняется, прежде всего, уменьшением количества неметаллических включений в стали и их более равномерным распределением в объеме металла.

Плавки, обработанные ПП, отличаются более высокой раскисленностью и степенью десульфурации. Это приводит, прежде всего, к уменьшению количества оксидных, сульфидных и сложного состава неметаллических включений в стали, а также к равномерному распределению их в объеме металла, которые коагулируют в макроскопления и затем частично удаляются из жидкой стали путем всплывания.

Таким образом, результаты исследования качества стали 20ГЛ, обработанной по различным вариантам в ковше, позволяют сделать следующие выводы:

- предложена новая концепция технологии модифицирования металла, которая позволяет повысить качество готовой продукции, улучшить макро- и микроструктуру металла и увеличить выход годных деталей железнодорожных тележек;

- введение ПП позволило получить металл с существенно меньшим содержанием серы (до 0,008 %), общего кислорода (до 0,0016 %);

- технология процесса модифицирования стали в сталеразливочном ковше вместимостью 6 т, позволила улучшить механические свойства, особенно значение ударной вязкости (увеличение в 2,7 раза по сравнению с традиционной технологией);

- получены количественные зависимости технологических параметров модифицирования металла, положенные в основу новой технологической инструкции производства стали 20ГЛ;

- на основании комплексных полупромышленных исследований разработана и освоена рациональная технология модифицирование стали 20ГЛ с применением порошковой проволоки, обеспечивающая уникальное сочетание служебных свойств деталей железнодорожных тележек.

Результаты исследования внедрены в промышленное производство ДП «Литейно-механический завод» АО «Ўзбекистон темир йўллари».

#### Список литературы

1 Praxisorientierte Refinement von Stahlschmelzen mit Seltenerd-metallen. Archiv für das Eisenhüttenwesen / Dahl W. [u. a.]. – 1982. – Nr. 1. – S. 5–12.

2 Мовенко, Д. А. Совершенствование режимов обработки трубной стали церием / Д. А. Мовенко, Г. И. Котельников, А. Е. Семин // Электрометаллургия. – 2012. – № 8. – С. 7–12.

3 Шалимов, А. Г. Инновационное развитие электросталеплавильного производства / А. Г. Шалимов [и др.]. – М. : Metallurgizdat, 2014. – 306 с.

4 Кисиленко, В. В. Влияние редкоземельных металлов на качество трубной стали / В. В. Кисиленко [и др.] // Электрометаллургия. – 2007. – № 4. – С. 16–20.

5 Турсунов, Н. К. Исследование процесса десульфурации конструкционной стали с использованием твердых шлаковых смесей и РЗМ / Н. К. Турсунов, Э. А. Саноккулов, А. Е. Семин // Черные металлы. – 2016. – № 4. – С. 32–37.

6 ГОСТ 32400-2013. Рама боковая и балка наддресорная литые тележек железнодорожных грузовых вагонов. Технические условия. – Введ. 2014-07.01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 50 с.

УДК 629.4:539.43

## СНИЖЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ РАМ ПО ТРЕЩИНАМ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

*Н. К. ТУРСУНОВ, О. Т. ТОИРОВ*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Выпуск высококачественных и особо ответственных отливок с низкой себестоимостью является главной задачей литейных заводов. При изготовлении отливок вне зависимости от технологии получение литейной формы одним из наиболее часто встречающихся дефектов, которые существенно снижают качество отливок, являются дефекты усадочного происхождения. Глобальными причинами их образования могут быть ошибки при разработке технологии, а также нарушение технологических процессов производства.