



ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Турсунов Нодиржон Каюмжонович

Ташкентский государственный транспортный университет,

E-mail: u_nadir@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6037297>

ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Принято: 15-декабрь 2021

Утверждено: 15-январь 2022

Опубликовано: 5-февраль 2022

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

индукционная тигельная печь, дефосфорация стали, десульфурация стали, твердые шлаковые смеси.

АННОТАЦИЯ

Исследование режимов рафинирования стали марки 20ГЛ при использовании твердых шлаковых смесей проводили в индукционной тигельной печи вместимостью 6 т с уменьшением высоты мениска зеркала ванны, за счет повышение уровня металла. Получены количественные зависимости, положенные в основу новой технологической инструкции производства стали 20ГЛ, отражающие влияние температуры на процесс дефосфорации и установлено влияние выдержки металла под шлаком в индукционной тигельной печи на конечное содержание серы в металле.

Улучшение эксплуатационных и технологических свойств, промышленных изделий, повышение технического уровня и качества выпускаемой продукции является одной из основных задач науки, техники и современного машиностроения. Непрерывное ужесточение требований к надежности работы элементов конструкций заставляет более подробно анализировать конкретные условия их работы. Большинство станков, машин и деталей в процессе эксплуатации подвергаются циклическим нагрузкам. Поэтому проблема выносливости материалов актуальна для железнодорожной, автомобильной, авиационной, судостроительной, станкостроительной, энергетической и других отраслей промышленности.

Увеличение грузоперевозок в мире предъявляет повышенные требования к стали, используемой, для изготовления железнодорожных деталей и ставит новые задачи в области металлургии, при этом надежность и долговечность являются важнейшими из них. Выполнение этих требований определяет конкурентоспособность изделий на соответствующем сегменте рынка железнодорожного транспорта. В настоящее время на территории СНГ в качестве тележки грузового вагона используется тележка модели 18-100 и ее модификации (рисунок 1).

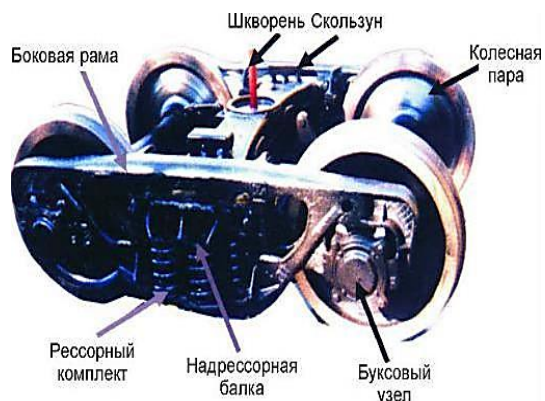


Рисунок 1 - Общий вид тележки модели 18-100

Одним из основных компонентов этой конструкции является «рама боковая» (рисунок 2), т.к. она объединяет в единую систему надрессорную балку, рессорное подвешивание, колесные пары с буксовыми узлами и навесное тормозное оборудование. «Боковую раму» отливают из стали 20ГЛ согласно ГОСТу 32400-2013.

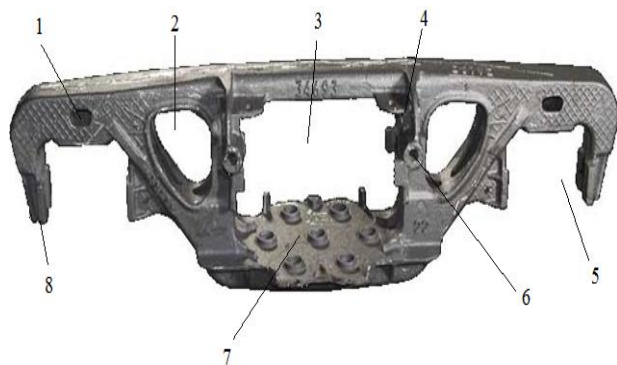


Рисунок 2 – Общий вид детали боковая рама тележки модели 18-100:

1 - технологическое отверстие, 2 – технологический проем, 3 - средний проем (рессорный), 4 - фрикционные планки, 5 - буксовый проем, 6 - прилив для тормозной поверхности, 7 - опорная поверхность для тормозного комплекта, 8 - буксовые направляющие (челюсти)

По статистическим данным на железнодорожном транспорте, с ростом грузоперевозок резко увеличились проблемы литых деталей тележек

модели 18-100 и за последнее 10 лет увеличились изломы боковых рам.

В эксплуатации наблюдается в основном два вида изломов - хрупкий и усталостный. Основными факторами, способствующими этим изломам, являются: пониженные механические свойства стали; недостатки технологии выплавки и раскисления стали и несовершенство литейной технологии и разливки стали, приводящие к образованию объемных структурных несовершенств и повышенному количеству неметаллических включений в стали [1]. Излом приводит к выводу ее из эксплуатации соответственно к экономическим потерям, а главное, при запоздалом обнаружении дефекта,- может привести и к людским жертвам.

Несмотря на изменения конструкции и технологии изготовления боковой рамы с целью снизить риск, аварии на железных дорогах, количество проблем, связанных с этим дефектом, не уменьшаются, а в ряде случаев увеличиваются.

Центральной заводской лабораторией ДП ЛМЗ принято решения, по изучению причин излома. Анализ очага разрушения боковых рам (рисунок 4) показал, что в большинстве случаев в районе излома повышено содержание вредных примесей, которое привело к повышению хрупкости металла, в частности сульфиды и фосфиды. Поэтому, основным предотвращением возникновения излома является регламентирование содержания вредных примесей в металле.



Рисунок 4 – Излом боковой рамы

Традиционные приемы внепечной обработки металла при выплавки исходного полупродукта, как в дуговых, так и индукционных печах имеют ряд ограничений по степени рафинирования от таких примесей как фосфор, сера, кислород, неметаллические включения и другим, во многом определяющим качество готовой металлопродукции.

Рост требований к свойствам стали, как правило, опережает развитие технологических приемов, направленных на повышение чистоты металла. Вследствие этого необходим дальнейший поиск эффективных способов рафинирования стали.

Шлаки занимают весьма важное место при производстве металла. Удаление из металла вредных примесей основано на переводе серы и фосфора в шлак. Изменяя состав, количество и температуру шлака, можно добиться изменения содержания в металле кремния, марганца, фосфора, серы, кислорода и других элементов. Поэтому получение шлака необходимой концентрации и химического состава является одной из важных задач при выплавке металла.

Одной из таких функций шлака является поглощение (сорбция) фосфора, серы, и некоторых других элементов. Сорбционная способность шлака по отношению к примесям определяется его составом, температурой и

раскисленностью системы “металл – шлак”. Для удаления каждой примеси требуются определенные условия.

Важнейшими физическими свойствами шлаков являются вязкость, плотность, электропроводность и поверхностное натяжение. Вязкость шлака оказывает существенное влияние на скорость массообмена в металлической ванне и поэтому связана с показателями всего процесса [2-4].

Шлаки в процессе выплавки металла в ИТП до настоящего времени не нашли широкого применения в металлургической практике. Это обусловлено, прежде всего, низкой реакционной способностью шлаков, разогрев которых происходит только в зоне контакта с поверхностью металла, малой величиной поверхности контакта “металл – шлак”, охлаждением шлаков футеровкой тигля.

Эксперименты по дефосфорации металла проводили с использованием твердых шлакообразующих смесей (ТШС) на основе извести, железорудного концентрата и плавикового шпата.

Для улучшения взаимодействия между металлом и шлаком был увеличен уровень жидкого металла в тигле выше предела индуктора, что обеспечило уменьшение высоты мениска зеркала ванны и тем самым позволило удержать шлак над расплавом и уменьшить его “сползание” к стенке тигля. В период окисления металла для предотвращения сильного захолаживания шлака жидкую ванну перемешивали металлическим прутком, тем самым и увеличивая реакционную способность шлака.

В работе исследовали влияние температуры на процесс дефосфорации стали в конкретных производственных условиях при выплавке вышеуказанной





стали в ИТП. Температуру расплава изменяли от 1525 до 1650 °С и после выдержки в течение 5 мин отбирали пробу металла на полный химический анализ.

Средний химический состав металла по 30 плавкам, принятый для исследования и для термодинамических расчетов, приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Средний хим. состав металла на конец периода расплавления

Элемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
%	0,189	0,028	0,348	0,014	0,033	0,164	0,123	0,180	0,002

Для определения химического состава шлака при плавке стали марки 20ГЛ были отобраны пробы шлака из ИТП, период скачивания последнего и проанализированы в лаборатории. Для определения химического состава шлака использовали спектральный атомно-

эмиссионный метод с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП). Средний химический состав шлака на конец периода расплавления, принятый для исследования и для термодинамических расчетов, приведен в таблице 2.

Таблица 2-Средний хим. состав шлака на конец периода расплавления

Оксид	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅
%	45,5	23,1	13	5	10	2	1,4

В таблице 3 и на рисунке 5 приведены экспериментальные значения, характеризующие влияние температуры

металла на содержание фосфора в металле и в шлаке.

Таблица 3 - Влияние температуры металла на содержание фосфора в шлаке и в металле

t _м , °С	1525	1550	1575	1600	1625	1650
(P) _к , %	0,62	0,55	0,50	0,40	0,36	0,30
[P] _к , %	0,011	0,012	0,014	0,016	0,019	0,022



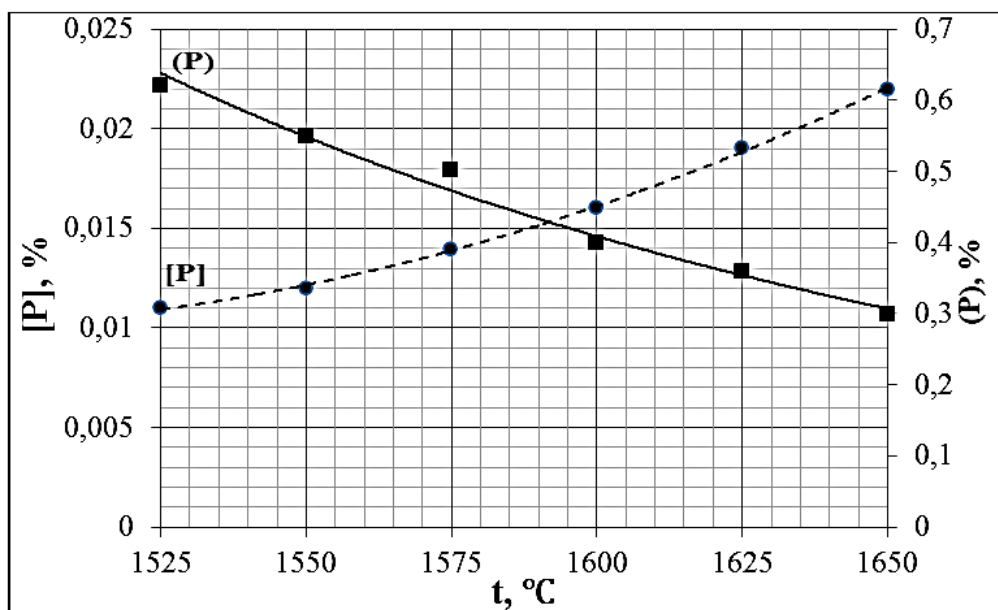


Рисунок 5 – Влияние температуры металла на содержание фосфора в металле и в шлаке (точки - экспериментальные данные содержания фосфора: ● - в металле и ■ - в шлаке)

Как видно из рисунка 5, на плавках с пониженной температурой степень дефосфорации была значительно выше, чем на экспериментах с повышенной температурой. Если при температуре 1525 °C было удалено 70 % фосфора, то на плавках с температурой 1650 °C это значение составило примерно 40 %. Соответственно и доля фосфора, перешедшего в шлак на экспериментах при низкой температуре, была существенно выше, чем при высокой. Содержание фосфора в шлаках при низкой температуре процесса достигало 0,62 %, при высокой - около 0,30 %. При этом баланс по фосфору соблюдался. Полученные данные особенно важны при выплавке стали в ИТП, так как изменять химический состав и физические свойства шлака, как правило, не удастся в широких пределах из-за специфических условий индукционной плавки.

Сера - одна из примесей, весьма значимо снижающая служебные

свойства стали, и это обусловлено объемом исследований, посвященных вопросам десульфурации металла [5-6].

При проведении процесса десульфурации в ИТП предварительно полностью снимали окислительный шлак. Затем включали печь на мощность 2000 кВт, раскисляли металл ферросилицием (ФС65) и ферромарганцем (ФМн88А).

Шлак для десульфурации стали наводили присадками ТШС (на основе извести - 100 кг, плавикового шпата - 12 кг и алюминия - 0,2%), которые подавали на металлический расплав тремя порциями. Чтобы развить поверхность контакта между металлической фазой и шлаком, был увеличен уровень жидкого металла в тигле за предел индуктора, что позволило уменьшить мениск зеркала. В начале периода десульфурации металла для предотвращения сильного "захолаживания" шлака жидкую ванну перемешивали металлическим прутком



в течение 15 минут, увеличивая его (шлака) реакционную способность. После этого выдерживали металл под шлаком в течении 30 мин.

Температуру металла, при которой исследовали процесс десульфурации, поддерживали на уровне 1650 °С. Для этого печь переводили в режим термостатирования на 30 мин. Пробы металла отбирали через каждые три минуты.

В таблице 4 приведен типичный состав шлака. В приложении приведены составы шлаков основных экспериментов. Для определения содержания CaO, SiO₂, FeO, MnO, Al₂O₃, MgO в шлаке использовали спектральный атомно-эмиссионный метод с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП).

Таблица 4 - Средний химический состав рафинировочного шлака, %

CaO	S	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	CaF ₂
						ост.

Результаты эксперимента по десульфурации металла представлена на рисунке 6.

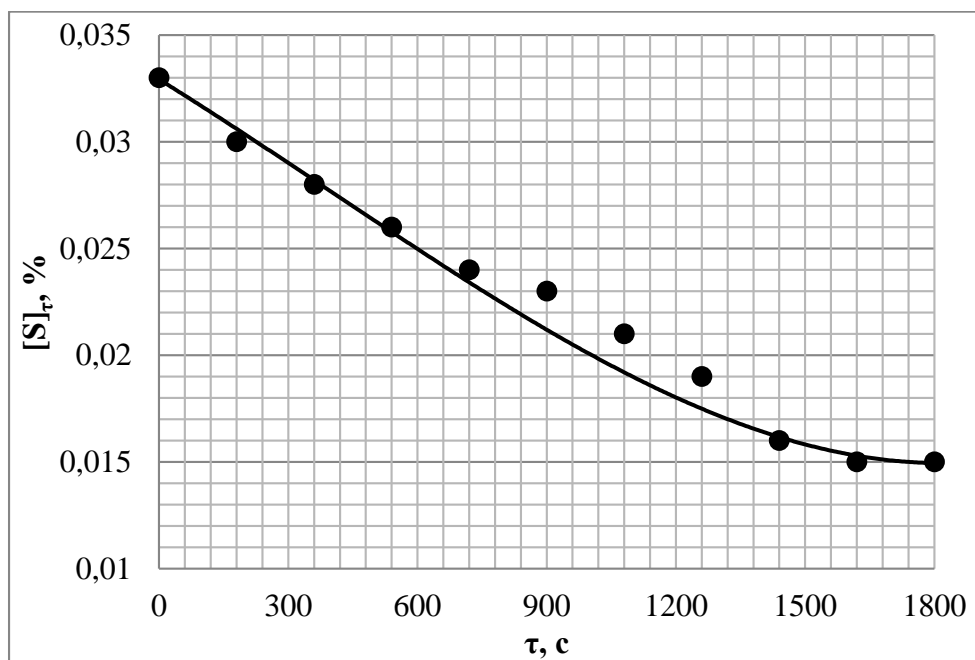


Рисунок 6 – Влияние времени выдержки металла под шлаком в ИТП на содержание серы в стали

Как видно из рисунка 6, с увеличением времени обработки расплава содержание серы в металле уменьшалось. Лучшие результаты наблюдали при обработке расплава в течение 24...30 мин. Дальнейшее время выдержки после 24 мин уже не

приводило к столь интенсивной десульфурации стали.

Выводы. Разработана и предложена новая концепция технологии плавки в индукционной тигельной печи, которая позволяет обеспечить эффективное рафинирование металла от фосфора и





серы за счет использования шлака, увеличения его количества, дополнительного перемешивания шлака и металла, увеличения времени их взаимного контакта.

Показано, что обеспечить повышенную рафинирующую способность шлака при плавке стали в ИТП можно за счет подбора специальных шлаковых смесей с пониженной температурой плавления, определенного времени выдержки металлического расплава под шлаками при конкретной температуре ванны, получения плоского мениска металла с целью сохранения необходимого по времени контакта жидкоподвижного шлака с рафинируемой ванной за счет уменьшения “сползания” шлака к стенке тигля.

Предложенная технология рафинирования стали в индукционной

тигельной печи вместимостью 6 т, позволило:

- увеличить степень дефосфорации с 25 до 70 % с достижением содержания фосфора менее 0,025...0,014 % ($P_{нач}=0,030...0,040$ %);

- увеличить степень десульфурации с 50 до 90 % с достижением содержания серы менее 0,020...0,005 % ($S_{нач}=0,033...0,040$ %).

- заменить дорогой чистый лом (0,010 % P, 0,010 % S) на более дешевый (по сравнению с действующей технологией).

Технология внедрена в промышленное производство ДП «Литейно-механический завод» АО «Ўзбекистон темир йўллари». Годовой экономический эффект составляет 9 млрд. сум.

Использованная литература:

1. Разработка легирующих комплексов и технологических методов воздействия на кристаллизующуюся сталь для получения отливок железнодорожного транспорта с высокими механическими свойствами. Автореферат на диссертацию/ Солдатов Валерий Геннадьевич / Брянском государственном техническом университете. Москва - 2006.
2. Электрометаллургия стали и ферросплавов / Поволоцкий Д.Я., Роцин В.Е., Рысс М. А., Строганов А. И., Ярцев М. А. Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработ. И доп. М.: Metallurgia. 1984.
3. Еднерал Ф.П. Электрометаллургия стали и ферросплавов. Изд. 4-е, переработ. и доп. М.: “Металлургия”, 1977 г. -488 с.
4. Атлас шлаков. Справ. изд. Пер. с нем. - М.: Metallurgia, 1985 г. -208 с.
5. Поволоцкий Д. Я., Роцин В. Е., Рысс М. А., Строганов А. И., Ярцев М. А. Электрометаллургия стали и ферросплавов : учеб. для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Metallurgia, 1984. — 568 с.
6. Поволоцкий Д. Я., Роцин В. Е., Мальков Н. В. Электрометаллургия стали и ферросплавов : учеб. для вузов. Изд. 3-е, перераб. И доп. — М. : Metallurgia, 1995. — 592 с.
7. Toirov, O., & Tursunov, N. (2021, June). Development of production technology of rolling stock cast parts. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 05013). EDP Sciences.
8. Турсунов, Н. К., Тоиров, О. Т., Железняков, А. А., & Комиссаров, В. В. (2021). Снижение дефектности крупных литых деталей подвижного состава железнодорожного транспорта за счет выполнения мощных упрочняющих рёбер.