



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

**Институт новых материалов
и технологий**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ).
Институт новых материалов и технологий.

ул. Мира, 28, Екатеринбург, Россия, 620002,
тел./факс: +7 (343) 374-53-35, +7 (343) 375-44-39
e-mail: inmt@urfu.ru, **urfu.ru**

16.02.2022

№ 33.20-32/44

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Горкуши Дмитрия Витальевича «Исследование технологии выплавки и ковшевой обработки низкоуглеродистых сталей класса IF для глубокой вытяжки с целью повышения качества продукции», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов

Одной из важнейших проблем в области естественных и технических наук является создание научных основ для разработки и совершенствования технологий получения новых более совершенных материалов для автомобильной промышленности, что позволяет производить более легкий кузов без потери прочностных характеристик конструкции. Это стало возможным благодаря созданию и последующему внедрению в производство таких марок стали как IF (Interstitial Free) - стали без свободных атомов внедрения и IF-ВН (Bake Hardening) - стали с упрочнением при горячей сушке.

Актуальность работы. Совершенствование научных основ и технологических параметров достижения стабильного высокого качества сталей для глубокой вытяжки является актуальной задачей. Стали класса IF производятся на предприятиях по различным технологическим схемам, в зависимости от наличия того или иного оборудования, однако обработка расплава на циркуляционном или камерном вакуумматорах является обязательной составляющей любой технологии. Качество произведенной стали зависит от многих параметров, одним из которых для IF-ВН сталей является достижение ВН-эффекта. Другим важнейшим критерием качества для сталей класса IF и IF-ВН - является чистота металла по неметаллическим включениям (НВ), которые негативно влияют на пластические свойства материала, приводят к образованию поверхностных дефектов плоского проката и снижают технологичность производства из-за уменьшения скорости разливки стали, так как вызывают «зарастание» сталеразливочных стаканов.

Таким образом, представленная диссертационная работа, посвященная исследованию и оптимизации технологии внепечной обработки IF и IF-ВН сталей для стабильного достижения

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА	
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	
Дата регистрации	16.02.2022
Фамилия регистратора	

ВН-эффекта и снижения негативного влияния неметаллических включений, влияющих на механические и коррозионные свойства металла, на технологичность производства и качество готовой продукции, несомненно **является актуальной**.

К научной новизне диссертационной работы следует отнести следующее:

1. Определены ключевые технологические параметры достижения ВН - эффекта в сталях класса IF, выявлены оптимальные диапазоны значений $C_{эфф}$, общего углерода, азота, а также определено влияние размера зерна.

2. Впервые разработан и практически реализован метод количественного определения неметаллических включений различных типов совместным применением двух методов анализа неметаллических включений: фракционного газового анализа (ФГА) и электролитического растворения с последующим микрорентгеноспектральным анализом НВ на растровом электронном микроскопе (ЭР ЭЗМА). Разработанный метод исследований позволил доказать ключевую роль включений оксидов титана на процессы зарастания разливаемых стаканов.

3. С применением методов ФГА и ЭР ЭЗМА количественно определено влияние различных технологических операций на формирование, модифицирование и удаление неметаллических включений различных типов в раскисленных алюминием сталях. Впервые количественно определено влияние операций разливки на рафинирование металла от неметаллических включений.

4. Впервые показано, что по результатам анализа образцов металла методом ФГА возможно прогнозировать вероятность затягивания сталеразливочных стаканов при разливке сталей класса IF, по пикам кривой газовой выделенности.

Практическая значимость работы

1. Разработанный метод определения количественного и качественного состава неметаллических включений комбинацией двух методов ФГА и ЭР ЭЗМА успешно использован для исследования промышленных образцов IF сталей и проходит апробацию для анализа других марок стали.

2. Ключевые параметры достижения ВН - эффекта при производстве IF-ВН стали и рекомендуемые диапазоны значений $C_{эфф}$, углерода, азота реализованы в практике производства IF-ВН сталей на двух отечественных предприятиях.

3. Проведенный анализ технологии выплавки и внепечной обработки IF и IF-ВН сталей на отечественных предприятиях позволил сформулировать рекомендации для корректировки промышленной технологии производства IF ВН стали со стабильным получением заданного состава и высокого качества.

Достоверность теоретических практических положений диссертации подтверждается согласованностью результатов опытов с основными положениями химической термодинамики.

Диссертация состоит введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы из 118 наименований. Работа изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 57 рисунков и 21 таблицу.

Содержание диссертации достаточно адекватно и полно отражено в тексте автореферата.

В первой главе проведен обзор сталей класса IF и IF-BF применяемых при производстве автомобилей и пути достижения упрочнения стали при сушке. Для производства внешних деталей кузова автомобиля требуется очень хорошая пластичность и поэтому используются IF стали (Interstitial Free – стали без свободных атомов внедрения), которые являются сверхнизкоуглеродистыми (содержание углерода в стали менее 30 ppm). Для проявления эффекта упрочнения стали при сушке, химический состав стали должен регулироваться таким образом, чтобы в стали оставалось 15-25 ppm углерода *эффективного* ($C_{эфф}$).

Приведен обзор методов определения и факторы наличия ВН эффекта, а также факторы, влияющие на величину упрочнения при сушке, среди которых отмечено влияние содержания углерода, растворенного в твердом растворе, легирующих элементов, влияние размера зерна. Содержание $C_{эфф}$ в растворе α -Fe является главным фактором, определяющим наличие и величину ВН-эффекта.

Описан мировой опыт производства IF и IF-BN сталей на таких предприятиях как Voest-Alpine Stahl Linz GmbH, Thyssen Krupp Stahl (Беккервет), National steel и приведены данные по химическому составу IF и IF-BN стали, производимой на зарубежных предприятиях.

Определены основные типы неметаллических включений в IF и IF-BN сталях, которые влияют на качество стали, такие как дефекты холоднокатаного листа и технологичность процесса производства - «зарастание» сталеразливочных стаканов. Проведен сравнение различных методов анализа неметаллических включений, которые наиболее эффективно могут быть применены при контроле включений в сверхнизкоуглеродистых сталях. Показано, что каждый аналитический метод имеет ряд преимуществ и ограничений. Поэтому для получения достоверной и объективной информации о чистоте стали необходимо использовать несколько методов или их комбинацию.

На основании проведенного анализа были определены цели и задачи диссертационной работы

Во второй главе диссертации приведено описание разработанной комплексной методики анализа неметаллических включений методами фракционного газового анализа (ФГА) и электролитического растворения образца с последующим определением состава и морфологии неметаллических включений на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3700N, оборудованном энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (ЭО ЭЗМА). Показано, что сочетание методов ФГА и ЭР ЭЗМА хорошо дополняют друг друга для подробного изучения НВ таким параметрам,

как оценка объемной доли различных типов неметаллических включений, морфологии, размеров и количество кластеров.

В третьей главе исследовано изменение содержания различных типов неметаллических включений в стали при выпечной обработке низкоуглеродистой стали класса IF на двух отечественных металлургических предприятиях. На предприятиях используют разные технологии выплавки и выпечной обработки сталей данного класса, что обусловлено различным набором агрегатов выпечной обработки. При этом, наиболее интересными, с точки зрения изучения содержания неметаллических включений являются разные технологические схемы раскисления и модифицирования: на одном из предприятий используется кальций для модифицирования, а на другом предприятии его не применяют.

Исследования содержания, состава, размеров, морфологии и объемного распределения НВ в отобранных пробах металла проводили с использованием рентгеноспектрального микроанализа образцов на сканирующем электронном микроскопе и методом фракционного газового анализа.

По результатам сравнения плавок на предприятии 1 где включения не модифицируются с помощью добавления кальция и предприятия 2 где добавление кальция применяется можно сделать вывод, что кальций положительно влияет на морфологию включений, модифицируя их в глобулярные/сферические включения которые являются наименее вредными как для технологичности процесса (затягивание сталеразливочных стаканов) и для конечного продукта. Это говорит об эффективном применении комплексного раскисления путем добавления модификатора кальция, который модифицирует включения типа кластеры в сферические включения.

В четвертой главе диссертации представлено исследование ключевых параметров достижения ВН эффекта в сверхнизкоуглеродистых сталях для глубокой вытяжки, а также представлены предложения по оптимизации технологии выплавки, выпечной обработки и легирования при производстве сталей класса IF и IF-ВН. Проведен анализ влияния общего содержания углерода, азота и Сэфф на величину ВН-эффекта и наличие площадки текучести для холоднокатаного и отожженного листа в исходном состоянии. Установлено, что для обеспечения отсутствия площадки текучести в холоднокатаном листе IF-ВН стали необходимо выполнение четырех условий по содержанию углерода и азота на пробе, отобранной из сляба: 1) содержание общего углерода в металле менее 40 ± 2 ppm; 2) содержание общего азота в металле менее 40 ± 2 ppm; 3) суммарное содержание углерода и азота менее 80 ppm; 4) содержание углерода эффективного в диапазоне 7-20 ppm.

Проведены расчеты вакуум кислородного обезуглероживания и даны рекомендации по корректировке технологии для стабильного получения стали заданного состава, требуемого количества Сэфф для получения заданного ВН-эффекта и использование кальция в качестве модификатора для снижения влияния неметаллических включений на качество стали и технологичность процесса. Предложена скорректированная технология производства IF ВН стали, обеспечивающая стабильное достижение заданного состава стали и высокого качества продукции.

В заключении по диссертации сформулированы основные научные положения и изложены достигнутые практические результаты работы.

Результаты работы достаточно полно обсуждены на региональных, Всероссийских и Международных конференциях и семинарах. В целом, следует отметить хороший уровень и разнообразие экспериментальных и расчетных методов исследования, представленных и использованных автором, квалифицированное обсуждение результатов.

По результатам работы опубликовано 20 научных работ: 5 статей опубликованы в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты работы доложены на 14 международных и Российских научных конференциях.

Рассмотренный материал автореферата диссертации соответствует паспорту специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Наряду с несомненными достоинствами, по работе следует сделать некоторые замечания:

1. По оформлению:

1.1. На стр. 11 приведен рисунок, но нет ссылки на него, а также нет подрисуночной подписи. Видимо это должен быть рисунок 1.1, а затем следует рисунок 2, но видимо должен быть рисунок 1.2. Далее приведен рисунок 3 (видимо должен быть 1.3), но ссылки на него опять нет. Формулы и таблицы также обозначены (1), вместо (1.1).

1.2. В тексте приведена фраза «Контроль общего содержания углерода на уровне 15-25 ppm и титана на уровне ~ 0,01 % позволяет получать ВН-эффект при легировании стали только титаном [18, 19].». Видимо размерность нужно приводить к одним единицам, либо ppm, либо %.

1.3. На рис. 46 на стр. 107 подрисуночные надписи сделаны на английском языке. Все надписи должны быть на русском языке.

1.4. Автор указывает и приводит в автореферате список из 20 опубликованных работ по теме диссертационной работы, однако в ней же ссылается только на три работы.

2. На стр. 44-45, определены цели и задачи диссертационной работы. Желательно, чтобы соискатель пояснил, какой цели и задаче служит исследование, приведенное во 2-й главе диссертационной работы.

3. Во второй главе на стр. 47 указывается, что в качестве материалов для последующего анализа были использованы образцы модельных сплавов Fe-10% Ni (70 г) с дальнейшим добавлением Ti и Zr или Mg. Желательно, чтобы соискатель, дал пояснения по выбору модельных сплавов и системы раскисления.

4. На странице 124, рисунок 52, представлены результаты комплексного раскисления стали. На данном рисунке видно, что при увеличении количества элементов-раскислителей равновесное содержание кислорода снижается. Однако известно, что существуют рациональ-

ные значения содержания элементов-раскислителей, которые обеспечивают минимальное остаточное содержание кислорода в расплаве.

5. Одной из необходимых технологических операций, при выплавке IF сталей, является обработка стали в циркуляционном вакууматоре, при этом не рассмотрены технологические параметры обработки расплава в данном металлургическом агрегате, например не указан расход газа во впускной патрубке вакуум-камеры.

6. Автором указано, что «Практическая значимость подтверждается полученной справкой от ПАО «Северсталь» об использовании результатов диссертационной работы в промышленных условиях». Но в диссертационной работе справки нет.

Сделанные замечания носят частный характер, и не меняют общего положительного мнения о рецензируемой работе. Автореферат диссертации отражает её содержание.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, позволившую, с целью получения стали с заданным химическим составом по углероду и азоту, достижения заданного ВН-эффекта, снижения вредного влияния неметаллических включений типа кластеры предложить альтернативную схему внепечной обработки стали, исключающую обработку стали на агрегате «ковш-печь», и имеющую достаточный уровень научной новизны и практической значимости. Считаю, что диссертационная работа Горкуши Дмитрия Витальевича соответствует требованиям п. 9-11 и 14, Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент



Шешуков Олег Юрьевич, директор Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор, доктор технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов

620002, г. Екатеринбург,
ул. Мира, 28.
Тел.: (343)3754439
E-mail: o.j.sheshukov@urfu.ru

Я, Шешуков Олег Юрьевич, согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе 