

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР



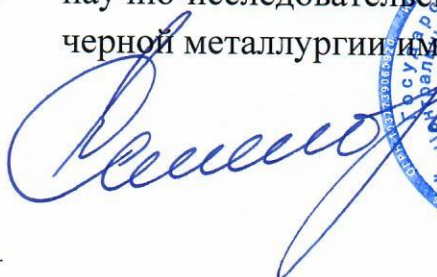
"Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина"

ГНЦ ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"

105005 г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел.: +7 (495) 777-93-01; факс: +7 (495) 777-93-00  
e-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор  
Государственного научного центра  
Федерального государственного  
унитарного предприятия «Центральный  
научно-исследовательский институт  
черной металлургии им. И.П. Бардина»

  
В.В. Семенов



«    »                      20 год № 1652-1/10

на №                      от

|                                                    |                 |             |
|----------------------------------------------------|-----------------|-------------|
| НИЦ «Курчатовский институт»-<br>ЦНИИ КМ «Прометей» |                 |             |
| ДОУ                                                | Вх. № 1639      | в ДЕЛО      |
|                                                    | «03» 06 20 22г. | № _____     |
|                                                    | Осн. 2022 г. л. | подп. _____ |
|                                                    | Прил. _____ л.  |             |

**Отзыв**

ведущей организации на диссертационную работу Ефимова Семена Викторовича, представившего диссертацию «Разработка комплексной технологии производства крупных штамповых плит Cr-Ni-Mo-V композиции легирования для предотвращения флокеноподобных дефектов и повышения эффективности термической обработки» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям  
2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»,  
2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

**Актуальность диссертационной работы**

В связи с тем, что, крупные кузнечные слитки преимущественно предназначены для изготовления ответственных элементов энергетического, судостроительного, атомного и других отраслей машиностроения совершенствованию технологии их производства придается большое значение. Для металлургической промышленности все шире используются крупногабаритные поковки из легированных сталей для изготовления штамповых плит, удельный объем которых в кузнечнопрессовом производстве



непрерывно растет. Важнейшие требования, предъявляемые ко всем видам штамповых сталей – сочетание твердости с высокой вязкостью, износостойкостью при высоких требованиях по внутренним дефектам. На сегодняшний день достаточно хорошо под указанные выше требования подходят среднеуглеродистые, хромоникельмолибденовые стали типа 5ХНМ отечественной и 56NiCrMoV7 зарубежной разработки. На предприятии ООО «ОМЗ-Спецсталь», на базе которого выполнялась данная работа данный вопрос актуален, так как на протяжении многих лет периодически часть крупногабаритных заготовок толщиной свыше 600 мм, изготовленных из слитков массой до 100 т и выше, переводили в брак по дефектам ультразвукового контроля. Особой актуальностью обладают научные изыскания и технологические разработки, направленные на уменьшение содержания газов в металле, поскольку основным видом дефектов являются флокены. Данная проблема является комплексной и требует решения на всех ключевых переделах производства данных заготовок, начиная с выплавки (ковшовая обработка), разливки в слитки, транспортировки, накопления и нагрева под ковку,ковки и заканчивая ключевым элементом – противфлокеной обработкой, ПФО (ПТО). Хотя многие аспекты этой проблемы уже решены, остались вопросы, по которым у исследователей имеются спорные позиции.

С этих позиций рецензируемая работа Ефимова С. В., направленная на совершенствование технологии производства штамповых сталей Cr-Ni-Mo-V композиции для предотвращения образования дефектов типа флокены и повышение эффективности термообработки, безусловно, является актуальной.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

– Определен и экспериментально доказан многофакторный механизм образования флокенов в крупногабаритных поковках. Установлены факторы, влияющие на появление и развитие флолокеноподобных дефектов: присутствие включений алюминатов, карбонитридов ванадия и титана, сульфида марганца больших размеров; режим предварительной термической обработки вне оптимального диапазона для полного протекания  $A \rightarrow \Phi + \Pi$  превращения;



форма слитка, влияющая на кинетику роста столбчатых кристаллов и формирование подсадочных зон слитка; недостаточная степень деформации без полного устранения границ дендритов; высокое содержание водорода более 1,0 ppm (несмотря на представления о том, что при содержании водорода менее 1,5 ppm флокены не возникают).

- Установлен имеющийся резерв по снижению содержания водорода при ковшовой обработке.

- Определены основные параметры процесса ковшового вакуумирования, позволяющие обеспечить минимальные концентрации водорода в стали.

- Установлены режимы раскисления и модифицирования стали, обеспечивающие минимальный уровень загрязненности неметаллическими включениями.

- Установлено, что для обеспечения минимального уровня сульфидных включений необходимо обеспечивать содержание серы в металле не более 0,003%.

- Показано, что полнота и эффективность фазовых превращений, происходящих при накоплении и изотермическом отжиге, влияет на образование дефектов типа флокены. Применение изотермических режимов превращения аустенита в феррито - перлитную структуру, с временем, достаточным для полного прохождения диффузионного превращения, в соответствии с полученными по новой методике диаграммами превращения аустенита в диффузионной области, полностью предотвращает образование бейнитной структуры и позволяет обеспечить удаление водорода за счет выдержки при протекании диффузионного превращения. Рекомендовано применение 2<sup>х</sup> - стадийного процесса изотермического превращения аустенита в диффузионной области способствующего ликвидации границ первичного аустенитного зерна и остатков дендритов с образованием мелкозернистой структуры без признаков структурной наследственности.

– Расчётами по кинетике удаления водорода впервые показано, что при прохождении диффузионных процессов превращения аустенита в изотермических условиях на стадии накопления и в ходе непосредственно изотермического отжига, с учетом роста коэффициента диффузии водорода в  $\gamma$ - и  $\alpha$ -фазах на несколько порядков, существует возможность достижения максимальной полноты удаления водорода.

– Автором определены оптимальные температурно–временные параметры фазовых превращений на стадии накопления и основных этапах предварительной термической обработки, произведенной по изотермической схеме. Этот диапазон температур изотермических выдержек соответствует  $\pm 15^\circ\text{C}$  от средней линии между  $\text{Ar}_3$  и  $\text{Ar}_1$ , полученных при реальных скоростях охлаждения при режиме предварительной термической обработки.

**Практическая значимость** диссертационной работы не вызывает сомнений и сводится к решению взаимосвязанных задач, направленных на создание технологии производства штамповых плит исключая образование дефектов в виде флокенов и снижающей брак.

Разработанные технологические параметры производства штамповых сталей марок 56NiCrMoV7 и 5XHM внедрены в производственный процесс на ООО «ОМЗ-Спецсталь».

**Достоверность и обоснованность полученных результатов, выводов и рекомендаций** подтверждается представительным объемом экспериментальных данных, высокой степенью воспроизводимости результатов экспериментов, использованием современных экспериментальных и теоретических методов современной металлургии и материаловедения, статистических методов обработки данных, а также эффективностью предложенных технических решений, подтвержденной результатами промышленных испытаний.

Диссертационная работа логично выстроена, изложена на 233 страницах и состоит из введения, шести глав, заключения, список литературы содержит 120 источников.



По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ в журналах и различных сборниках трудов российских и международных научно-технических конференций, в том числе 9 статей в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, 5 статей из которых входят в международные реферативные базы данных.

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и основные задачи работы, научная новизна, практическая значимость, методология и методы исследования, положения выносимые на защиту.

**В первой главе** выполнен анализ результаты отечественных и зарубежных исследований по теме диссертации, рассмотрен накопленный научно-исследовательский опыт по проблеме образования флокенов в заготовках. Сделаны выводы, что в имеющихся работах по данной теме не рассматривается многофакторный характер образования дефектов в виде флокенов.

**Во второй главе** изложена общая структура исследований. Представлены марки стали: 56NiCrMoV7 и 5XНМ, производимые на ООО «ОМЗ-Спецсталь», использованные в качестве объектов исследований.

Автором проведен комплекс испытаний, включающий всесторонние исследования литого металла и поковок с определением фазового состава, количества и размеров неметаллических включений, микроструктуры. Проанализированы температурно-кинетические параметры фазовых превращений. Показано, что работа выполнена с применением современных методов испытаний.

**Третья глава содержит** результаты металлографических исследований, анализ сквозных технологических параметров производства, и на основании этого определены основные механизмы и факторы, приводящие к образованию флокеноподобных дефектов.

Отмечено, что в анализируемых дефектных заготовках было достаточно низкое содержание водорода (не более 1,5 ppm), при котором считалось, что флокены уже не образуется. В результате исследований установлены два основных механизма развития дефектов: внутризеренное хрупкое разрушение и



межзеренное. В работе выявлены и изучены основные факторы, которые приводят к развитию этих механизмов:

- наличие зон с локально высоким содержанием водорода в слитке, несмотря на низкое содержание водорода в жидкой стали;
- размер, форма и состав неметаллических включений;
- разрушение по границам наследственной структуры слитка - дендритов;
- не оптимальный режим предварительной термической обработки для обеспечения полноценного удаления водорода, проведение процесса предварительной термической обработки вне диапазона феррито-перлитного превращения и получение нехарактерной для исследуемых сталей бейнитной структуры;

Основываясь на полученных данных определены ключевые направления совершенствования сквозной технологии производства для предотвращения образования флокенов. Сталеплавильный передел: получение минимально-возможного содержания водорода в жидкой стали и слитке, создание условий удаления неметаллических включений. Термодеформационная обработка: обеспечение полной проработки структуры, и устранение дендритной структуры. Предварительная термическая обработка: разработка режима, обеспечивающего полное прохождение диффузионного феррито-перлитного превращения с образованием мелкозернистой структуры при максимальной степени удаления водорода.

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы снижения содержания водорода на стадии сталеплавильного передела. Изучение поведения водорода и разработка способов снижения его содержания в жидкой стали проводились на ООО «ОМЗ-Спецсталь». Основной этап, на котором возможно обеспечить значительное удаление водорода - это ковшовая обработка стали, а именно вакуумирование металла. С целью определения параметров фактически влияющих на содержание водорода по ходу ковшовой обработки, подготовлена база данных по 51 плавке сталей 5XHM и 56NiCrMoV7, выполненных на ООО «ОМЗ-Спецсталь». Анализ данных проведен по 97 параметрам. Выполненный расчет равновесного содержания водорода в металле для фактических условий



окончания процесса вакуумирования показал, что для условий проведения анализируемых плавок, равновесное содержание водорода в жидкой стали составляет 0,10-0,19 ppm при фактической концентрации водорода от 0,5 до 1,5 ppm.

Определены критические параметры, оказывающие влияние на достижение минимальных концентраций водорода в стали:

- продолжительность вакуумирования и достигаемое остаточное давление;
- химический состав шлака;
- интенсивность перемешивания;
- углеродсодержащие добавки.

**Пятая глава диссертации посвящена** определению режимов раскисления и модифицирования, способа разливки обеспечивающих минимальную загрязненность металла неметаллическими включениями.

Исследования показали, что при использовании предварительного раскисления углеродом путем ввода его в виде карбида кальция или при использовании вакуум углеродного раскисления, обеспечиваются наилучшие результаты.

Для обеспечения минимального уровня сульфидных включений необходимо обеспечивать содержание серы в металле не более 0,003 %. При более высоких концентрациях происходит увеличение количества и размеров включений после разливки слитка. При содержании серы в металле выше 0,003% необходимо использовать модификатор на основе кальция.

**В шестой главе** представлены результаты работ по определению температурного диапазона  $A \rightarrow \Phi + \Pi$  превращения для стали 56NiCrMoV7 с использованием дилатометрических исследований в сочетании с металлографическими и физическими методами. На базе полученных результатов автором разработаны и предложены оптимизированные режимы предварительной термической обработки, выполнены расчеты поведения водорода в процессе предварительной термической обработки. Обеспечено сокращение времени термической обработки на 40%, при значительном снижении концентрации водорода по сечению поковки.

Разработанные на основе результатов работы рекомендации внедрены на конкретном предприятии с получением положительных результатов в области качества и снижения затрат.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. На рисунках 4.11, 4.12 представлены зависимости конечного содержания водорода от степени десульфурации и деазотации металла. Не понятен механизм влияния.
2. В Главе 5 при проведении исследований состава включений встречаются включения  $TiO_2$  при отсутствии легирования титаном.
3. В Главе 6 на графиках 6.8-6.13 и др. встречаются нечитаемые надписи по оси у.
4. В 6 главе при проведении дилатометрических исследований не указан фактический химический состав образцов, а указана марка стали 56NiCrMoV7, при этом возможно влиянии разбега в пределах допуска отдельных элементов на полученные результаты.

Отмеченные замечания не снижают актуальности, научной новизны и практической ценности диссертационной работы.

### **Заключение.**

Диссертация Ефимова Семена Викторовича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует установленным в пп. 9-11 и 14 положения о порядке присуждения ученых степеней утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для металлургической области, а именно: разработана комплексная технология производства крупных штамповых плит Cr-Ni-Mo-V композиции легирования для предотвращения флокеноподобных дефектов и повышения эффективности термической обработки. Ее автор Ефимов Семен Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»



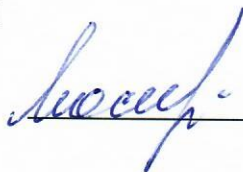
Отзыв по диссертационную работу и автореферат Ефимова Семена Викторовича заслушан и обсужден на заседании Научно-технического совета Научного центра физико-химических основ и технологий металлургии (НЦФХО) ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» 30 мая 2022 г. (протокол № 3).

Председатель НТС НЦФХО,  
д.т.н.



Зайцев Александр Иванович

Ученый секретарь ГНЦ ФГУП  
"ЦНИИчермет им. И.П. Бардина"  
к.т.н.



Москвина Татьяна Павловна

Данные о ведущей организации:

Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина» (ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина») 105005, Москва, ул. Радио 23/9, стр. 2,  
тел.: +7 (495) 777-93-01, эл. почта: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)