

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Мурзина Александра Владимировича «Разработка технологии науглероживания металла при выплавке трубных сталей с использованием полупродукта ДСП», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия горных, цветных и редких металлов».

### 1. Актуальность работы

Современное массовое производство стали базируется на получение стального полупродукта с концентрацией углерода  $< 0,1\%$  с интенсивным вводом кислорода в ванну в конверторе или высокомоощных электродуговых печах с доводкой до заданного химического состава, в том числе по содержанию углерода, при выпуске металла в ковш и последующей внепечной обработке. Науглероживатели и технологию ввода по данным промышленных плавок выбирают эмпирически на основе определения степени усвоения углерода, количество неметаллических включений, которое не должно превышать предельно допустимых значений (по данным металлографического контроля) и по уровню брака продукции. Науглероживание металла часто ограничивают не более  $0,1\%$ . Это приводит к снижению производительности сталеплавильного агрегата. Поэтому исследования физико - химических и технологических процессов внепечного науглероживания стального полупродукта, проведенные в работе, безусловно актуальны, они являются одними из ключевых при разработке сквозной технологии производства качественных сталей трубного сортамента.

### 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

На основании детального анализа литературных данных по технологии науглероживания расплавов, кинетике растворения графита в железе в лабораторных условиях, связи между свойствами жидкой стали и физико – химическими характеристиками проката и с учетом результатов исследований, проведенных с участием диссертанта, по науглероживанию мартеновского полупродукта с последующей обработкой на АКП и разливкой на МНЛЗ перед переходом на выплавку полупродукта в ДСП сформулированы задачи исследования по технологии науглероживания при производстве стали по технологической схеме: получение низкоуглеродистого окисленного стального полупродукта в высокомоощной ДСП–135 – внепечная обработка на агрегате ковш - печь (УВОС) и вакууматоре VD – разливка на МНЛЗ.

Для контроля эффективности апробируемых технологических решений и их влияние на качество получаемого проката впервые применено определение кинематической вязкости стали, характеризующей структурное состояние расплава. Применимость этого метода доказана установлением достаточно жёстких корреляционных связей между величиной относительного

удлинения металла трубы и продолжительностью релаксации (продолжительность стабилизации вязкости расплава) и расходом науглероживателя на АКП.

Методом крутильных колебаний определения кинематической вязкости впервые изучено влияние примесей кислорода, серы и кремния в железе на ассимиляцию расплавом углерода графита. Из указанных элементов в изученных интервалах концентрации наиболее сильное влияние на процесс оказывает содержание кислорода, которое, в отличие от S и Si, можно регулировать в процессе получения стального полупродукта в ДСП. Полученные в лабораторных условиях данные и результаты промышленных исследований по влиянию количества и времени ввода науглероживателей на свойства жидкого металла позволили определить целевые показатели по составу стального полупродукта ДСП и параметрам технологии науглероживания. Эти данные имеют высокую научную и практическую значимость.

Следует отметить, что успешному освоению технологии выплавки стального полупродукта целевых состава и температуры препятствовали неоптимальные проектные решения для строительства цеха: отсутствие возможности загрузки извести и других сыпучих материалов в бадью в шихтовом пролете, расположение системы загрузки сыпучих материалов через свод и газоотсоса на одной стороне печи, а также сравнительно большая продолжительность транспортировки ковша с полупродуктом от ДСП в пролёт внепечной обработки и разливки.

Несмотря на это разработан и внедрен усовершенствованный, по сравнению с базовой технологией, энерготехнологический режим получения полупродукта с окисленностью, близкой к оптимальной при плавке шихты, состоящей в основном из амортизационного и оборотного металлолома, печных шлаков с пониженным содержанием оксидов железа и повышенным MgO, что обеспечило высокие стойкость футеровки печи и выход жидкого стального полупродукта.

В результате многолетних исследований разработана комплексная технология науглероживания и раскисления окисленного полупродукта, основные положения которых обоснованы. В целом разработанная сквозная технология выплавки стального полупродукта, науглероживания графитом или электродным боем и комплексом карбид кремния и графит, шлаковый режим и технология раскисления при выпуске и внепечной обработке обеспечила получение трубного металла широкого сортамента с высоким уровнем физико-механических свойств и минимальным уровнем брака. Для ряда марок стали разработанная технология плавки в ДСП и внепечной обработки позволила отказаться от дорогостоящей обработки стали на вакууматоре.

Сформированные в работе научные положения, выводы и технологические решения полностью соответствуют названию, цели, задачам диссертационного исследования.

3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных данных определяется использованием в работе современных методов физико - химических исследований и металлографического контроля, воспроизводимостью результатов как лабораторных, так и промышленных экспериментов, статистическим анализом процессов с применением специализированных пакетов прикладных программ, внедрением разработанных технологических решений.

Научная новизна и практическая значимость основных научных положений, выводов и технологических решений не вызывает сомнений. Среди них следует выделить:

Впервые выполнены систематические исследования влияния параметров технологии науглероживания полупродукта на качество трубных сталей и получены данные о влиянии науглероживания на кинематическую вязкость расплавов и качество готовой стали. Экспериментально показано отрицательное влияние кислорода на формирование расплавов железа при науглероживании. Получены новые данные об уровне окисленности полупродукта ДСП и влиянии технологических параметров плавки на активность кислорода в расплаве. Уточнены термодинамические и впервые изучены кинетические и реологические закономерности взаимодействия карбида кремния с расплавами железа.

Установлены оптимальный диапазон окисленности полупродукта и возможность получения целевой окисленности за счет оптимизации режима продувки кислородом, технологии ввода антрацита в ДСП и шлакового режима.

Сформированы общие принципы технологии науглероживания полупродукта при плавке стали современными высокоинтенсивными процессами. Эффективность предложенных принципов при внедрении комплексной технологии раскисления и науглероживания полупродукта графитом, электродным боем совместно с графитом, карбидом кремния и графитом при производстве трубных сталей на базе получения стального полупродукта в ДСП с последующей внепечной обработкой металла. Часть технологических решений запатентована (ссылки приведены в диссертации) или находятся в стадии патентования.

#### 4. Замечания по работе

4.1. Замечание дискуссионное. В работе установлено отрицательное влияние примесей кислорода и кремния на продолжительность релаксации при растворении углерода в железе, что объяснено ферритобразующей ролью этих элементов и увеличением доли ОЦК-подобной упаковки атомов железа в расплаве, в которой растворимость углерода ограничена.

Следует учитывать, что в процессе растворения частиц графита может происходить и химическое взаимодействие углерода с этими элементами с образованием промежуточных соединений, чисто атомарный переход углерода при этом затруднён. В частности Вертманом А.А. высказано предположение об образовании на поверхности графита в процессе растворения плё-

нок  $C_xO_y$  и пакетном растворении графита в расплаве. Аналогично можно полагать образование комплексов  $C_xSi_y$  на поверхности графита при вводе кремния в железо. Более медленное растворение карбида кремния по сравнению с графитом установлено диссертантом.

По нашему мнению об отрицательном влиянии серы на растворение углерода говорить рано. Зависимость 2 на рис. 2.15 при концентрации серы 1-2 ppm (0,0001...0,0002 %) близка к зависимости при растворении углерода с концентрацией кислорода 8 ppm (рис. 2.12), т.е. влияние серы при её крайне низкой концентрации не обнаруживается. Зависимость 1 (рис. 2.15) получена при  $S = 0,05$  %, превышающей растворимость серы в ОЦК-подобной решётке железа 0,035 %. Перегрев расплава над линией ликвидуса сравнительно небольшой ( $\sim 70$  °C), при этом расплав Fe – S может быть микронеоднородным и полученные данные по вязкости в первую очередь определяются вводом серы, а влияние растворяющегося углерода на вязкость находится в пределах наблюдаемых колебаний  $\nu$ .

4.2. К сожалению, информация по примеру образования трещины в литой заготовке недостаточна (рис. 4.2), не приведен состав фаз, не указано увеличение, при котором снималась микроструктура. В тексте указано, что в зоне расположения трещины и в направлении её развития повышенное количество ферритной фазы. По внешнему виду трещину можно характеризовать как закалочную, образовавшуюся при охлаждении заготовки, фаза, которую характеризуют как ферритную, по-видимому, не феррит, обладающий высокой пластичностью, а мартенсит.

4.3. В диссертации, хотя бы справочно, следовало бы привести данные по количеству и составу неметаллических включений и макроструктуре литой заготовки.

4.4. Имеются мелкие замечания по стилистике и подписям к рисункам:  
- в предложении «...неравновесность расплава, прежде всего, связана со снижением уровня пластических свойств готовой стали (рисунок 1)» перепутаны причинно-следственные связи;  
- непонятно, что такое «плотность» на рис. 3.12, 3.13, 4.7. На рис. 4.7 содержание алюминия в стали распространяется в область отрицательных значений.

Замечания по работе, часть которых носит дискуссионный характер, не снижают теоретическую и практическую значимость диссертационной работы Мурзина А.В., которая выполнена на актуальную тему.

5. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней

Диссертация Мурзина А.В. является самостоятельной законченной научно- квалификационной работой, которая решает актуальную научно-техническую задачу по разработке технологии науглероживания металла при высокоинтенсивной выплавке трубных сталей ответственного назначения с

использованием полупродукта высокомошных дуговых сталеплавильных печей.

Основные технологические решения, предложенные диссертантом, внедрены на ПАО «Северский трубный завод», что подтверждается Актом внедрения технологии науглероживания металла при выплавке трубных сталей с использованием полупродукта ДСП, утверждённым техническим директором ПАО «Северский трубный завод» В.А. Топоровым. Экономический эффект от внедрения только комплексной технологии раскисления и науглероживания полупродукта ДСП с использованием карбида кремния, согласно расчёту экономической эффективности, утверждённому директором по экономике и финансам ПАО «Северский трубный завод» А.Н. Амельченко составил 125,6 млн. руб. Результаты диссертационной работы могут быть использованы на предприятиях чёрной металлургии.

Диссертационная работа и автореферат находятся в полном соответствии и по содержанию отвечают паспорту специальности 15.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

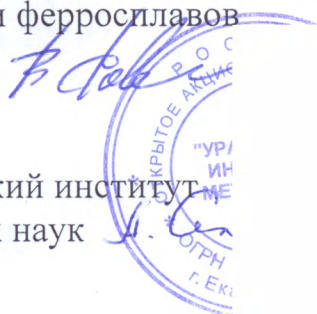
Результаты работы достаточно полно отражены в опубликованных в научных изданиях статьях и автореферате диссертации.

Представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор, Мурзин Александр Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент, кандидат технических наук, ОАО «Уральский институт металлов», исполнительный директор Научно-исследовательского центра металлургии стали и ферросплавов Ровнушкин Виктор Аркадьевич  
27.02.2017 г.

Подпись заверяю:

Учёный секретарь ОАО «Уральский институт металлов», кандидат технических наук



А. Ровнушкин

\*  
А.И. Селетков

620062, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 14  
ОАО «Уральский институт металлов»  
Тел. (343) 374-03-91 E-mail: uim@ural.ru