

На правах рукописи



СЫЧЕВ Александр Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ИНЖЕКЦИОННОГО
МЕТОДА НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ СТАЛИ И ТОРКРЕТИРОВАНИЯ
ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

Специальность 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте металлургии Уральского отделения Российской академии наук

Научный руководитель доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Жучков Владимир Иванович

Официальные оппоненты Истомин Сергей Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН Институт металлургии Уральского
отделения Российской академии наук, глав-
ный научный сотрудник лаборатории физи-
ческой химии металлургических расплавов

Мысик Виктор Федорович,
кандидат технических наук, доцент,
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента Рос-
сии Б.Н.Ельцина», доцент кафедры метал-
лургии железа и сплавов

Ведущая организация Научно-исследовательский институт метал-
лургической теплотехники –
ОАО «ВНИИМТ»

Защита состоится 26 апреля 2013 года в 13⁰⁰ на заседании диссертацион-
ного совета Д 004.001.01 при Федеральном государственном бюджетном уч-
реждении науки Институте металлургии Уральского отделения Российской
академии наук по адресу: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 101.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
Уральского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан ____ марта 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Дмитриев
Андрей Николаевич

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Применение инъекционных технологий является одним из главных направлений прогрессивного развития сталеплавильного производства. Это обусловлено тем, что значительное ускорение физико-химических реакций происходит при интенсификации перемешивания металла, шлака и газа, а также при увеличении удельной поверхности реагирующих фаз. Наибольший эффект интенсификации металлургических процессов достигается при одновременном ускорении потоков расплава и увеличении реакционного контакта фаз при измельчении твердых компонентов в порошок, дроблении жидкости в капли, а газа в мелкие пузыри. Поэтому продувка металла в сталеплавильном агрегате или ковше с одновременным введением порошков обеспечивает максимальный контакт вдуваемых твердых реагентов с жидким расплавом, высокую скорость их взаимодействия и степень использования.

В связи с этим инъекция порошковых материалов в стальной расплав для различных целей нашла распространение в мире. Эта технология может также с успехом использоваться для торкретирования огнеупорных футеровок ковшей, печей и других металлургических агрегатов.

В отечественной промышленности наблюдалось отставание в применении инъекционной технологии среди других видов обработки расплава металла и торкретирования футеровок металлургических агрегатов. В значительной степени это было связано с разработкой конструкций инъекционных установок, изготавливаемых для собственного потребления на металлургических заводах и не обеспечивающих надежную работу, имеющих низкий уровень автоматизации и узкий диапазон применения, а также несовершенством инъекционных технологий при их использовании в металлургических агрегатах.

В связи с этим диссертационная работа, направленная на совершенствование и внедрение инъекционного метода обработки стали и торкретирования металлургических агрегатов с применением нового отечественного пневмотранспортного оборудования, является актуальной.

Цель работы. Совершенствование инъекционного метода науглероживания стали и торкретирования огнеупорных футеровок с применением нового отечественного пневмотранспортного оборудования.

Задачи исследований:

1. Выполнить расчетно-аналитические и опытно-конструкторские работы по созданию нового инжекционного и торкрет-оборудования, организовать производство разработанных установок.
2. Провести математическое моделирование процесса науглероживания металлического расплава с применением инъекции.
3. Внедрить усовершенствованную технологию инжекционного науглероживания стали в промышленных условиях.
4. Разработать и внедрить промышленную технологию торкретирования конвертеров и патрубков вакууматоров с применением нового отечественного торкрет-оборудования.

Научная новизна.

1. Методом математического моделирования получены новые данные по времени растворения частиц графита в железоуглеродистом расплаве в зависимости от крупности частиц и температуры расплава; определено влияние относительной скорости движения частицы на время ее растворения.
2. Определена необходимая глубина ввода вдуваемой частицы в расплав, обеспечивающая ее полное растворение.
3. Получены новые данные по статьям расхода вводимого инъекцией углерода в стальной расплав.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Разработано и изготовлено новое инжекционное оборудование НТМ*, не уступающее лучшим зарубежным аналогам по надежности, степени автоматизации и диапазону применения, соответствующее условиям отечественного металлургического производства при значительно меньшей цене.
2. Усовершенствована и внедрена технология инжекционного науглероживания стали с применением установок НТМ, благодаря которой повышено на 8-10 % усвоение углерода при науглероживании стали.
3. Экспериментально определена оптимальная скорость движения торкрет-массы из сопла для наименьшего отскока при торкретировании футеровки

* Оборудование изготавливалось ООО «Новые технологии в металлургии» (ООО «НТМ»), инжекционные установки фирмы в работе обозначаем НТМ.

конвертеров, которая находится в диапазоне 35-50 м/с.

4. Разработана и внедрена новая технология торкретирования футеровок патрубков вакууматоров и конвертеров, позволяющая примерно в два раза снизить количество отходов производства и пыли от перефутеровки этих металлургических агрегатов; сократить примерно на 10-12 % выбросы пыли в атмосферу цеха во время процесса торкретирования из-за снижения отскока торкрет-масс; получить экономический эффект от снижения затрат на огнеупоры в размере 193,9 млн. рублей в год.

Методы исследования. Математическое моделирование процесса растворения частиц углеродсодержащих материалов, вводимых в железоуглеродистый расплав различными способами. Высокотемпературные промышленные эксперименты по инъекционному науглероживанию стали и торкретированию металлургических агрегатов.

Положения, выносимые на защиту.

1. Результаты математического моделирования времени растворения частиц углеродсодержащего материала в расплаве металла в процессе инъекции и определение необходимой глубины ввода вдуваемой частицы в расплав для её полного растворения.

2. Данные по опытно-промышленным испытаниям усовершенствованной технологии инъекционного науглероживания металла и балансовые расчеты расхода углерода, вдуваемого в расплав стали.

3. Результаты внедрения новой технологии торкретирования футеровки патрубков циркуляционного вакууматора и конвертера.

Достоверность основных положений и выводов обеспечивается воспроизводимостью результатов математического моделирования результатами промышленных испытаний и внедрением инъекционной технологии в производство.

Личный вклад автора. Проведение математического моделирования времени растворения углеродсодержащих частиц. Участие в разработке и создании инъекционного оборудования, промышленных исследованиях, анализе и обобщении полученных результатов и их внедрении в производство.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на конференции «Современные проблемы металлургического производства» (г. Волгоград, 2002 г.); седьмом и восьмом конгрессах сталеплавателей (г. Магнитогорск, 2002 г., г. Нижний Тагил, 2004 г.); Международной научной конференции «Прогрессивные технологии в металлургии стали» (г. Донецк, 2004 г.); региональной научной конференции «Физическая химия и технология в металлургии» (г. Екатеринбург, 2005 г.); Международной научной конференции "Литейный консилиум № 4" (г. Челябинск, 2010 г.); XIV Международной научной конференции «Современные проблемы электрометаллургии стали» (г. Сатка, Челябинской обл., 2011 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, из них: 1 монография, 4 статьи в рецензируемых журналах по перечню ВАК РФ, 10 статей в других журналах и сборниках научных трудов, получен патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Основной материал изложен на 115 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка, 13 таблиц, библиографический список включает 108 источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении поставлена цель и сформулированы задачи исследования, обоснованы актуальность работы, её научная новизна и практическая ценность.

В первой главе приведен аналитический обзор литературных источников, посвященных методу вдувания технологических порошков в расплав металла в сравнении с другими методами интенсификации металлургических процессов. Показаны направления применения инъекционного метода в металлургии и состояние работ по инъекции материалов в расплавы и торкретированию футеровки. Отмечено недостаточно широкое использование инъекционных технологий в нашей стране.

Вторая глава посвящена разработке конструкций нового отечественного инъекционного оборудования для металлургических процессов, отражены этапы создания современного отечественного инъекционного оборудования.

Для создания инъекционного оборудования было выполнено проектирование основных конструктивных параметров пневмотранспорта, обеспечивающих его эффективную работу в металлургическом производстве.

При конструировании инъекционных установок использовались основные понятия о пневмотранспорте, общие принципы создания продувочных устройств и газодинамические расчеты, разработанные Ю.М. Кузнецовым, А.Е. Смолдыревым и другими известными в этой области специалистами.

В металлургии при внедрении новых технологий, использующих порошкообразные материалы, применяются, в основном, камерные питатели с пневматическим (азрационным) и пневмомеханическим дозированием порошка. Для нашей разработки были выбраны питатели пневмомеханического типа, которые применяются для дозирования, транспортирования как пыли, так и грубозернистого материала с размером частиц до 15 мм и влажностью до 8%, отличаются простотой и надежностью в эксплуатации, широким диапазоном применения и являются наиболее соответствующими требованиям металлургических заводов.

В результате проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ коллективом ООО «НТМ» при участии автора создано отечественное инъекционное оборудование с пневмомеханическими нагнетателями типа НТМ-01.

Согласно ТУ 3618-002-52309356-2006 введено следующее обозначение инъекционного оборудования: НТМ-01-2 – установка для вдувания сыпучих материалов в расплавы металлов (инъекционная установка); НТМ-01-4 – установка для торкретирования теплотехнических агрегатов (торкрет - установка). Обе установки НТМ имеют однотипные конструкции, отличающиеся объемом рабочей камеры, количеством разгрузочных устройств и наличием узла подачи воды для увлажнения материалов у торкрет-установки. Техническая характеристика установок НТМ приведена в таблице 1.

Таким образом, создано отечественное инъекционное оборудование различных типоразмеров, обладающее широким диапазоном заданных технических характеристик.

Таблица 1–Техническая характеристика установок НТМ

Наименование параметра	Характеристика
Производительность по объему материала, м ³ /ч	1,5 - 5,5
Объем установки по загрузке, м ³	0,25 - 1,65
Разгрузочное устройство для выхода материала в пневмолинию (независимые), шт.	1- 6
Внутренний диаметр напорных рукавов, мм: для подачи материала для подачи сжатого газа для подачи воды	25 - 50 40 - 50 15 - 25
Дальность подачи материала для каждой пневмолинии, м, макс.	100
Рабочее давление технологического газа, МПа	0,4 - 0,6
Расход сжатого газа, Нм ³ /мин	2 - 8
Осушенный газ для управления пневмоавтоматикой: давление, МПа расход газа, не менее, Нм ³ /мин	0,6 - 0,8 0,7
Пределы взвешивания, погрешность, кг	10-3000, ± 2
Пределы дозирования, кг	10 - 3000
Зернистость материала, мм:	0,1 - 15,0
Суммарная установленная мощность, не более, кВт	6,0
Габаритные размеры, max, мм: длина × ширина×высота	2500 × 2000×3550
Масса, не более, кг	2500

Инжекционная установка позволяет осуществлять подачу материала к месту применения с регулированием его расхода и скорости подачи в необходимом интервале, при этом одна установка может обеспечить от одной до шести точек подвода материала для инъекции.

Оборудование соответствует лучшим зарубежным аналогам по надежности, степени автоматизации и диапазону применения, и вместе с тем значительно дешевле импортного, отвечает условиям отечественного металлургического производства. Инжекционные установки НТМ успешно применяются как в составе комплексов оборудования, так и индивидуально на 12 металлургических предприятиях России, Украины, Узбекистана и Казахстана.

В третьей главе приведены данные по определению времени растворения углеродсодержащего материала (графита) в железоуглеродистом расплаве с использованием математического моделирования.

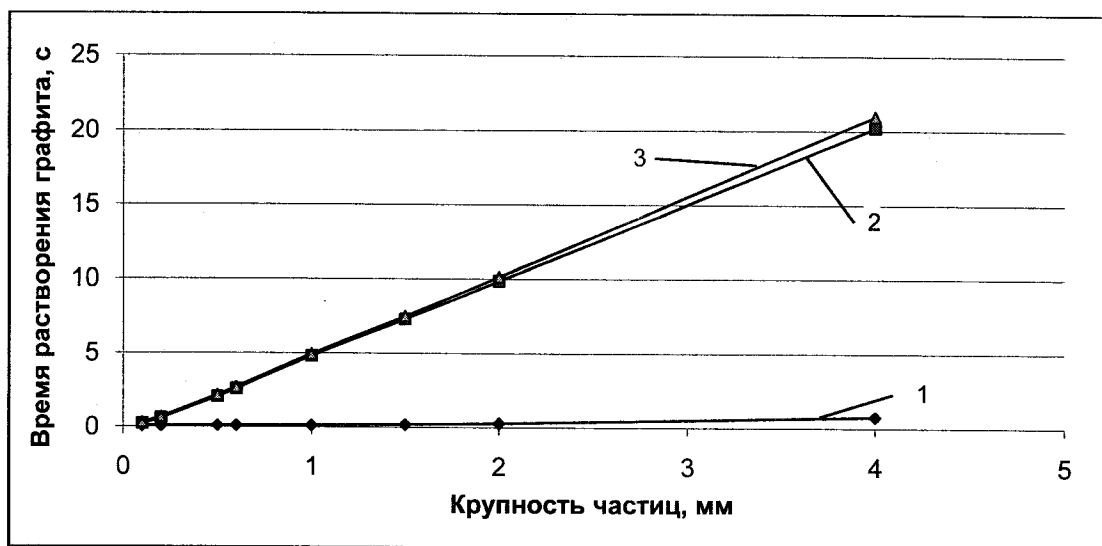
Проведен обзор работ по механизму растворения углерода в жидком железе и железоуглеродистых расплавах. Отмечено, что лимитирующими факторами растворения углерода являются диффузия углерода в расплав и перенос его внутрь расплава. Показано, что в литературе недостаточно данных, характеризующих скорость растворения углерода в зависимости от глубины ввода, крупности частиц, свойств материала, необходимых для расчетов параметров вдувания углеродсодержащих материалов.

С учетом свойств графита определена скорость его растворения в жидкой стали в зависимости от размера и различных способов ввода частиц в расплав. При этом рассматривалось нахождение частиц графита в статическом и динамическом режимах.

Расчеты проводились для двух видов искусственного графита. При содержании углерода 99,0 % и размере частиц 0,1-4,0 мм они имели теплоемкость (Дж/кг·К) 690 и 850 (соответственно для графита 1 и 2); теплопроводность (Вт/м·К) 23,3 и 92,2; плотность (кг/м³) 1350 и 1410; пористость (%) 9,0 и 8,0.

Растворение графита в стальном расплаве происходит в два периода (рис.1). В первом на графите образуется корка твердой стали, затем графит нагревается и корка расплавляется, во втором периоде графит растворяется без плавления. Длительность растворения определяется, в основном, тепломассообменом между расплавом и графитом. Продолжительность 2^{го} периода занимает основное время полного растворения графита (статический режим).

Увеличение крупности частицы графита с 1,0 до 2,0 мм приводит к возрастанию общего времени растворения с ~5 до ~10 с для графита 1 и 2, то есть наблюдается линейное увеличение времени растворения частицы графита с увеличением ее крупности (рис.1 и 2). Некоторая разница во времени растворения графита 1 и 2 связана, в основном, с разными значениями теплопроводности, теплоемкости и пористости.



1 - первый период растворения; 2 - второй период растворения;
3 - общее время растворения

Рисунок 1 – Растворение графита 1 по периодам в статическом режиме в зависимости от крупности частиц при температуре 1550 °С.

Каждый 1,0 мм диаметра приводит к повышению времени растворения примерно на 5 с. Это связано с тем, что при увеличении радиуса частицы материала возрастает её масса, что приводит к увеличению теплосодержания частицы, толщины намерзаемой стальной корки, а следовательно и времени растворения.

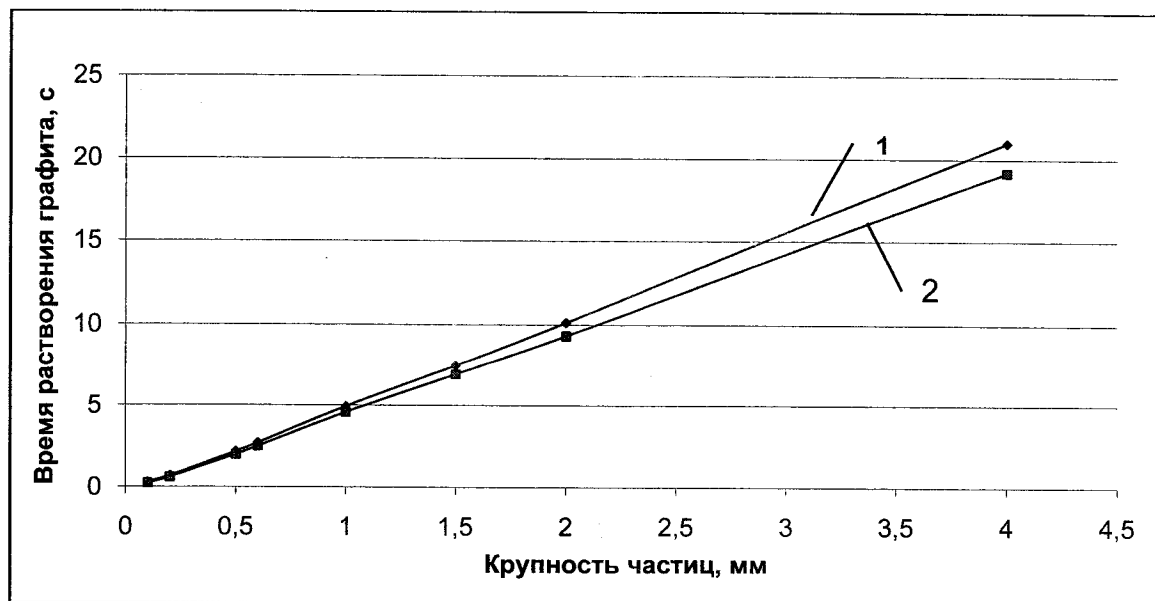


Рисунок 2 – Полное растворение графита в статическом режиме в зависимости от крупности частиц при температуре 1550 °С: 1- графит 1; 2 - графит 2.

Расчет влияния скорости движения частиц графита в расплаве на время их растворения показал, что чем выше скорость, тем меньше время растворения. При увеличении скорости движения ускоряется теплообмен между частицей и расплавом, быстрее плавится корка стали и время растворения сокращается (рис. 3).

Значительное снижение времени растворения происходит при увеличении относительной скорости движения частицы до 1,0 м/с.

С учётом рассчитанных значений времени растворения и скорости всплывания частиц углеродсодержащих материалов определена необходимая глубина ввода вдуваемых через фурму в расплав частиц, обеспечивающая их полное растворение (рис. 4). Частицы графита, вдуваемые в расплав, сначала внедряются в металл на глубину 0,01- 0,05 м, затем всплывают до полного растворения на высоту 0,24 и 0,28 м (крупностью 0,5 мм), а крупностью 1,0 мм на высоту 2,17 и 1,99 м (для графита 1 и 2 соответственно).

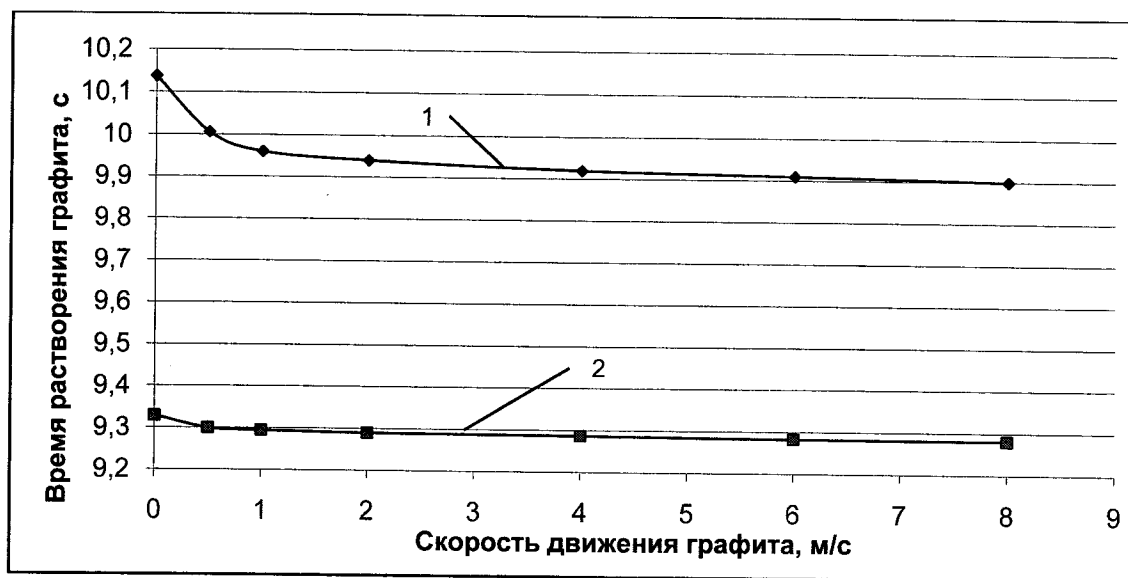


Рисунок 3 – Изменение времени полного растворения материала в зависимости от скорости его движения в расплаве для температуры 1550 °С и диаметре частицы 2 мм: 1- графит 1; 2 - графит 2

При вдувании графита в расплав на глубину до 2,0 м частицы размером более 1,0 мм будут растворяться частично в объеме, а частично на поверхности металла, что может снизить степень усвоения углерода металлом.

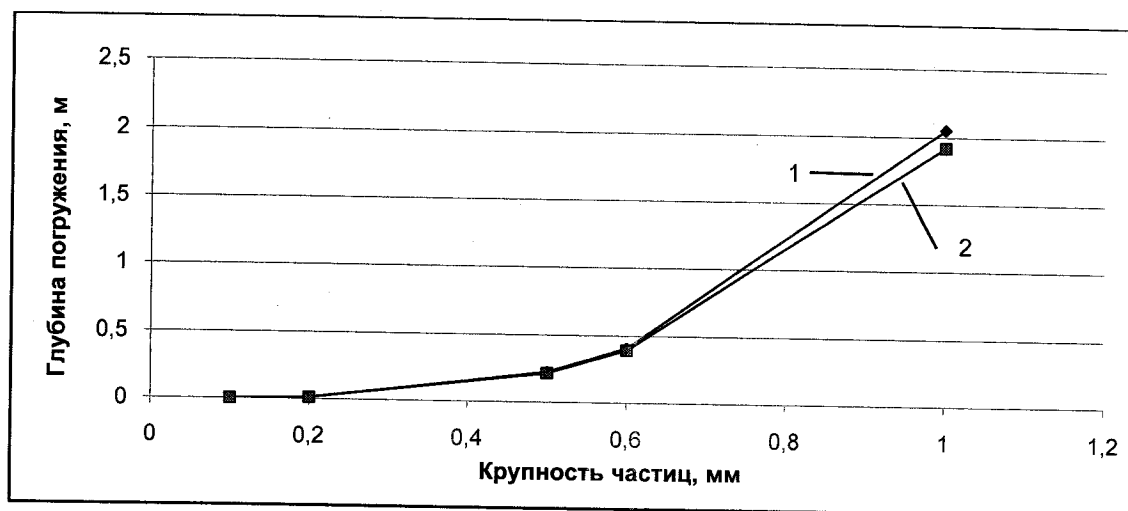


Рисунок 4 – Глубина погружения частицы (фурмы) в расплав, необходимая для полного её растворения при температуре 1550°C : 1- графит 1; 2 - графит 2.

При этом всплывший углерод, находящийся в шлаке и на его поверхности, будет частично угорать, а частично восстанавливать железо и другие элементы из шлаковой системы.

Расчеты процесса плавления углеродсодержащих материалов, вводимых через фурму инъекционным методом, были использованы при конструировании инъекционной установки и проведении промышленных экспериментов при вдувании углеродсодержащих материалов в жидкую сталь.

Для промышленной инъекции графита в жидкую сталь рекомендовано: размер частиц углеродсодержащих материалов для инъекции в расплав металла целесообразно иметь в пределах 0,5 - 2,0 мм; глубина погружения фурмы в расплав металла при инъекции порошкообразных материалов в зависимости от крупности должна составлять 0,3 - 2,0 м.

В четвертой главе приведены результаты исследований по использованию инъекционных установок для науглероживания стали, которые нашли наиболее широкое практическое применение.

На АОТ «Ревдинский метизно-металлургический завод» (РММЗ) для отработки технологии инжектирования материалов нами были проведены опытно-промышленные эксперименты по науглероживанию металла в 180 -

тонных мартеновских печах с помощью инжекционной пневмомеханической установки типа EKS – К 2,0, изготовленной фирмой Velco (Германия).

Хотя доля производства мартеновской стали в РФ в настоящее время незначительна (~ 6,0 %), проводить испытания науглероживания в ванне мартеновских печей целесообразно, поскольку в них созданы наиболее неблагоприятные условия для усвоения углерода (небольшая глубина при большой площади ванны металла, окислительная атмосфера печи) и использование технологии на других сталеплавильных агрегатах даст более высокие результаты.

Сравнительный анализ 151 плавки, проведенной с применением инжекционной технологии, и 228 базовых плавов показал следующее: средняя продолжительность плавов понизилась на 6,8 %; расход ферромарганца снизился в среднем на 7,0 %; расход алюминия сократился на 26 %; расход передельного чугуна в среднем уменьшился на 20 % (при увеличении расхода коксика в завалку на 7 %).

Проведён анализ влияния содержания углерода в стали перед вдуванием на величину его усвоения металлом. Показано, что степень усвоения углерода повышается с увеличением содержания углерода в стали перед вдуванием, что совпадает с результатами работ других исследователей. Усвоение углерода увеличивается с 50 % при его содержании в расплаве 0,1 % [C] до 77 % при 0,5 % [C]. Среднее усвоение углерода металлом составило около 58,0 %.

Важным фактором эффективного науглероживания металла является химический состав и фракция науглероживателя. Наиболее стабильные результаты по науглероживанию показал силицированный кокс фракцией 0 - 3 мм, содержащий, %: 58 - 60 C; 15 - 20 SiC; 18 - 20 SiO₂.

На всех плавках отмечалось улучшение технологических показателей процесса. Подтверждена технико-экономическая целесообразность использования инжекционного метода науглероживания в существующих условиях РММЗ за счет сокращения продолжительности плавки, увеличения выхода годного металла, снижения расхода передельного чугуна и раскислителей (табл. 2, 3.).

Первые испытания отечественной инжекционной установки НТМ были проведены в мартеновском цехе ЗАО «Нижне-Сергинский металлургический

завод» (НСМЗ) на двух 130 – тонных мартеновских печах, где была разработана и внедрена инъекционная технология науглероживания стали.

Таблица 2 – Характеристики базовых и опытных плавков РММЗ

№ п/п	Наименование	Продолжительность плавки, мин	Выход годного металла, %
1	Базовые плавки	600,4	73,5
2	Плавки с инъекцией	559,7	85,8

Таблица 3 – Расход чугуна и раскислителей на базовых и опытных плавках РММЗ

№ п/п	Наименование	Расход передельного чугуна и раскислителей, кг/т		
		Чугун передельный	Углеродистый ферромарганец	Алюминий
1	Базовые плавки	202,9	8,5	0,46
2	Плавки с инъекцией	160,72	7,9	0,34

Проведена оценка 17 опытных плавков с применением инъекционной технологии по сравнению с 50 базовыми плавками с использованием силицированного кокса.

Анализ полученных результатов повторил выводы о том, что определяющими факторами эффективного науглероживания металла с помощью инъекции являются: химический состав и свойства науглероживателя; содержание углерода в металле перед вдуванием; степень раскисленности металла.

Наилучшее усвоение углерода кокса происходило при содержании углерода в металле в пределах от 0,15 % и выше. Присадки небольших порций раскислителей (ферросилиция, ферромарганца) перед вдуванием увеличивали степень усвоения углерода кокса, однако целесообразнее предварительное раскисление проводить за счет более дешевого вдуваемого углерода.

При проведении опытных плавков увеличился выход годного металла на 3,3 %, сократилась продолжительность плавки в среднем на 3,4 %. Ввод углеродсодержащего материала вместо присадки твёрдого чугуна способствовал быстрому науглероживанию металла, не снижая при этом температуру расплава, а следовательно понижая продолжительность плавки в целом (табл. 4).

Таблица 4 – Характеристики базовых и опытных плавков НСМЗ

№ п/п	Наименование	Продолжительность плавки, мин	Выход годного металла, %
1	Базовые плавки	603,5	86,4
2	Плавки с инъекцией	590,5	89,7

Несмотря на то, что углеродсодержащий материал вдвухался в потоке воздуха, это не приводило к повышению угара металла, а только незначительно снизило степень усвоения углерода. Это объясняется тем, что продолжительность периода вдвухания углеродсодержащего материала была кратковременна и составляла 2 - 5 мин., а кислород, содержащийся во вдвухаемом воздухе, в основном выносился в виде пузырей в атмосферу печи.

Кроме того, введение углеродсодержащего материала способствовало восстановлению находящегося в шлаке железа и других элементов из оксидов и, следовательно, увеличению выхода годного металла. Это происходило при всплывании непрореагировавшего углерода на границу металл – шлак и выше.

Снизился расход раскислителей на плавках с использованием установки НТМ по сравнению с базовыми, что связано с участием углеродсодержащего материала в раскислении (табл.5).

Таблица 5 – Расход чугуна и раскислителей на базовых и опытных плавках НСМЗ

№ п/п	Наименование	Расход передельного чугуна и раскислителей, кг/т		
		Чугун передельный	Углеродистый ферромарганец	Ферросилиций
1	Базовые плавки	157,3	14,5	9,5
2	Плавки с инъекцией	122,5	13,1	8,9

Инжекционные технологии науглероживания металла с применением установки НТМ были также успешно испытаны и внедрены на ОАО «Днепропетровский трубопрокатный завод» (г. Днепропетровск, Украина) и ОАО «Чусовской металлургический завод» (г. Чусовой, Пермский край).

По результатам анализа проделанной на металлургических предприятиях работы по инъекционному методу науглероживания металла было установлено, что вид углеродсодержащего материала влияет на степень его усвоения. Из

опробованных материалов (кокс, графит, силицированный кокс с карбидом кремния) лучшие результаты показал силицированный кокс, вследствие того, что часть кислорода, растворенного в металле, реагирует с карбидом кремния, улучшая условия усвоения углерода металлом. Размер частиц вдуваемого углеродсодержащего материала не должен быть менее 0,5 мм (из-за пыления материала при перегрузках) и не более 1-2 мм (из-за большого времени растворения).

Проведенными балансовыми плавками на разных плавильных агрегатах показано, что необходимо учитывать не только степень использования углерода для науглероживания металла, но и полезное использование углерода в целом. По нашим расчетам, расход вводимого в расплав углерода в среднем распределяется следующим образом, %: 55-60 на науглероживание стали; 15-18 на восстановление железа и других элементов из оксидов в шлаке; 7-10 на раскисление металла; 15-20 на потери в виде выноса пыли, угара (взаимодействия с кислородом газа-носителя, то есть воздуха). Следовательно, полезное использование вводимого углерода в сумме составляет 80-85%.

Глубина ввода фурмы в металлический расплав должна определяться высотой слоя металла, в котором всплывает частица углерода, успевая полностью раствориться.

Установлено, что наиболее приемлемая для инъекции материалов температура стали 1520°-1560° С.

Установки НТМ являются универсальными и могут применяться для вдувания не только углеродсодержащих, но и других материалов, как в жидкую сталь, так и в другие шлаковые и металлические расплавы, в том числе и в цветной металлургии.

Установки успешно испытаны и внедрены для десульфурации стали (Узметкомбинат, г. Бекабад, Узбекистан), для вдувания порошкообразных материалов в расплавы на предприятиях цветной металлургии (ОАО «Святогор», г. Красноуральск, Свердловская обл.; ОАО «Электромедь», г. В-Пышма и г. Кировград, Свердловская обл. и др.).

В пятой главе приведены результаты исследований по использованию инъекционных установок НТМ для торкретирования футеровок металлургиче-

ских агрегатов. Широкие исследования по торкретированию проведены в конвертерных цехах ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (НТМК) и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК).

Для этих целей в конвертерном цехе ОАО «НТМК» была введена в эксплуатацию мобильная инжекционная установка НТМ-01-4М пневмомеханического типа. Пуск установки в эксплуатацию позволил провести испытания и отработать технологию нанесения торкрет-слоя периклазовой торкрет-массой LNM-85 китайского производства на различные части футеровки конвертера, в том числе и в область цапфенных зон. Химический состав торкрет – массы, %: 85,4 MgO; 6,2 С; крупность 0-3 мм.

При проведении промышленных экспериментов по нанесению данных огнеупорных масс торкрет-установкой НТМ-01-4М была выведена зависимость эффективности использования торкрет-массы (коэффициента прилипания K_{Π}) от скорости её вылета из сопла (рис. 5).

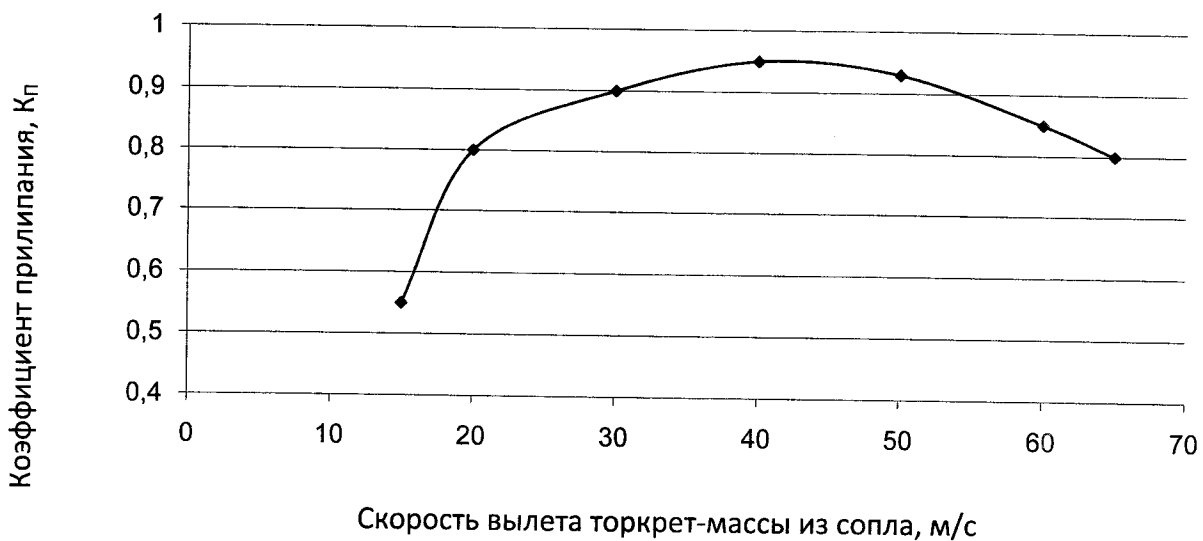


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента прилипания (K_{Π}) от скорости вылета торкрет-массы.

Коэффициент прилипания $K_{\Pi} = A_1/A_2$,

где: A_1 – количество прилипшей к футеровке торкрет-массы;

A_2 – количество всей израсходованной массы.

Показано, что наилучшая скорость движения торкрет-массы из сопла для наименьшего отскока находится в диапазоне 35-50 м/с при условии нахождения

ния сопла от футеровки на расстоянии 0,6 - 1,2 м. При меньшей скорости вылета прилипание частиц торкрет-массы к основному слою недостаточно прочно. С увеличением скорости частиц от 15 до 40 м/с коэффициент прилипания увеличивался от 0,55 до 0,95. При дальнейшем увеличении скорости (более 50 м/с) наблюдается пескоструйный эффект, то есть частицы наносимого материала «сбивают» с поверхности футеровки предварительно нанесенный торкрет-материал.

В результате применения мобильной торкрет-установки стойкость наносимого огнеупорного торкрет-слоя в конвертерах увеличилась с 2 до 6-7 плавков. При этом удельные затраты на футеровку конвертеров в 2007 г. по сравнению с 2000 г. снижены с 73,91 руб/т жидкой стали до 28,46 руб/т жидкой стали. Это позволило в 2007 году получить экономический эффект в размере 173 488 000 руб.

В 2002 г. на ОАО «НТМК» пущена в эксплуатацию первая торкрет-установка пневмомеханического типа НТМ - 01 - 4, предназначенная для использования в конвертерном цехе для торкретирования внутренней и наружной поверхности футеровок патрубков циркуляционного вакууматора №1.

В результате внедрения технологии торкретирования стойкость патрубков вакууматора за период с середины 2002 г. до 2005 г. увеличилась на ~ 30% (с 77 до 99 плавков), значительно снизились затраты на огнеупоры для патрубков циркуляционного вакууматора.

В 2006 году на ОАО «НТМК» введена в эксплуатацию торкрет-установка НТМ-01-4 для торкретирования футеровки патрубков циркуляционного вакууматора №2. В результате пуска установки в эксплуатацию и выбора рационального состава торкрет-порошков стойкость футеровки патрубков циркуляционного вакууматора №2 повысилась с 104,5 плавки в 2009 г., до 118,3 плавки в 2010 г. Затраты на огнеупорные материалы в 2007 г. по сравнению с 2000 г. для патрубков циркуляционных вакууматоров снизились с 31,39 до 18,61 руб./т вакуумированной стали.

Примерно в два раза снижено количество отходов производства и пыли, выбрасываемой в атмосферу при удалении старой футеровки. Кроме того, как показали замеры атмосферы воздуха, в конвертерном цехе из-за более низкого

отскока торкрет-масс, наносимых торкрет-установками НТМ-01-4 на поверхность футеровок вакууматоров и конвертеров, запыленность воздуха была снижена на 10–12 %.

Учитывая возможное влияние огнеупоров и защитных торкрет-масс на качество вакуумированного металла была проведена оценка загрязнённости неметаллическими включениями (НВ) металла, подвергающегося вакуумированию. Внедрение в технологию производства конвертерной вакуумированной стали торкретирования футеровок вакууматора и конвертера торкрет-установками НТМ не ухудшило качественных показателей вакуумированной стали по НВ.

Внедрение торкрет-установок НТМ в ОАО «НТМК» позволило при производстве в 2007 году вакуумированной стали получить экономический эффект 15, 7 млн. руб.

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» был внедрен комплекс торкрет-оборудования на установке вакуумирования стали. В результате использования установки НТМ-01-4 улучшились показатели по эксплуатации РН-вакууматора. Удельный расход огнеупоров снизился с 1,06 до 0,95 кг/т вакуумированной стали, удельные затраты на огнеупоры с 49,93 до 44,75 руб./т, экономия по огнеупорам в цехе составила 5,4 руб./т стали.

В результате использования инжекционной установки НТМ-01-4 в ОАО «ММК» общий экономический эффект за 2007 г. при объеме обработанного на вакууматоре металла 870,0 тыс. т. составил 4, 7 млн. рублей.

Заключение

Разработан, создан и освоен комплекс нового инжекционного оборудования и технология его использования, обеспечивший значительное повышение эффективности сталеплавильного производства.

1. В результате проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ создана первая отечественная инжекционная установка типа НТМ, а затем серия её усовершенствованных конструкций.
2. В процессе эксплуатации инжекционного оборудования выявлено, что оно позволяет использовать материалы с широким диапазоном характеристик

(фракция от 0,1 до 15 мм, влажность до 6 %, угол естественного откоса до 45°, насыпная масса до 2,5 т/м³); осуществлять их подачу к месту применения с регулированием расхода и скорости в необходимом интервале в шесть мест инжекции одной установкой.

3. С применением метода математического моделирования определено, что при увеличении относительной скорости движения частицы, особенно в начальный период до 1,0 м/с, происходит снижение времени растворения; частицы графита крупностью 0,5 мм, вдуваемые в расплав, всплывают до полного растворения на высоту 0,24 - 0,28 м, а крупностью 1,0 мм на высоту ~ 2,0 м.

4. Даны рекомендации для промышленной инжекции графита в жидкую сталь: рациональный размер частиц углеродсодержащих материалов для инжекции в расплав металла находится в пределах 0,5 - 2,0 мм; глубина погружения фурмы в расплав металла при инжекции порошкообразных материалов в зависимости от крупности должна составлять 0,3 - 2,0 м.

5. По результатам опытно-промышленных испытаний определены факторы, влияющие на стабильность и степень усвоения углерода при науглероживании расплава металла; получены новые данные по статьям расхода углеродсодержащего материала при вдувании в расплав, показавшие, что 55 - 60 % материала расходуется на науглероживание стали, 15 - 18 % на восстановление железа и других элементов из оксидов, 7 - 10 % на раскисление металла и 15 - 20 % на потери.

6. Экспериментально определена величина оптимальной скорости вылета торкрет-массы из сопла для наименьшего отскока при торкретировании футеровки конвертеров, которая находится в диапазоне 35 - 50 м/с.

7. Внедрение новой технологии торкретирования футеровок вакууматоров и конвертеров позволило улучшить экологическую обстановку в конвертерном цехе за счет снижения отходов производства и пыли при удалении старой футеровки и сокращения примерно на 10 - 12 % выбросов пыли в атмосферу цеха во время процесса торкретирования из-за снижения отскока торкрет-масс.

8. Применение метода торкретирования футеровки вакууматора и конвертера в технологии производства стали не ухудшило качественных показателей металла по неметаллическим включениям.

9. Экономический эффект от применения торкрет-установок в 2007 году составил: на ОАО «НТМК» 15, 7 млн. руб. от снижения затрат на футеровку патрубков вакууматоров и 173, 5 млн. руб. от снижения затрат на огнеупоры для футеровки конвертеров; на ОАО «ММК» 4,7 млн. руб. от снижения затрат на вакуумирование стали.

10. За создание и освоение комплекса нового инжекционного оборудования и технологий, обеспечивающих значительное повышение эффективности сталеплавильного производства, ведущим специалистам Института металлургии УрО РАН, ООО «НТМ», ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина и двух металлургических комбинатов (ОАО «НТМК» и ОАО «ММК»), в том числе и автору представленной работы, присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники за 2008 г.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Лопатин, В.Н. Конструкции и применение пневмотранспортного оборудования в металлургии / В.Н. Лопатин, Л.И. Леонтьев, В.И. Жучков, А.В. Сычев, С.В. Виноградов – Екатеринбург: УрО РАН. 2007. –172 с.
2. Лопатин, В.Н. Оборудование для инжекционной технологии в металлургии / В.Н. Лопатин, А.В. Сычев, Л.И. Леонтьев, В.И. Жучков, С.В. Виноградов // Сталь. № 4. 2004. – С. 23–25.
3. Леонтьев, Л.И. Применение пневмотранспортного оборудования на металлургических предприятиях / Л.И. Леонтьев, В.Н. Лопатин, Е.Х. Шахпазов, А.В. Кушнарев, В.Ф. Дьяченко, В.И. Жучков, А.В. Сычев, С.В. Виноградов, С.А. Самойлин // Сталь. № 12. 2007. – С. 59–63.
4. Кушнарев, А.В. Интенсификация процессов сталеплавильного производства путём применения нового отечественного пневмотранспортного оборудования / А.В. Кушнарев, В.Ф. Дьяченко, Л.И. Леонтьев, В.Н. Лопатин, Е.Х. Шахпазов, В.И. Жучков, А.В. Сычев, С.В. Виноградов, С.А. Самойлин // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2008. № 2. – С. 1–5.
5. Сычев, А.В. Моделирование процесса растворения графита, вводимого в расплав металла инжекционным методом / А.В. Сычев, В.И. Жучков, Е.Ю. Лозовая // Расплавы. № 4. 2012. – С. 83–87.

6. Виноградов, С.В. Торкретирование футеровки конвертеров и патрубков циркуляционных вакууматоров в конвертерном цехе ОАО «НТМК» / С.В. Виноградов, В.Н. Лопатин, В.И. Жучков, О.В. Заякин, В.В. Камаев, А.В. Сычев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, 2006 . № 7. – С. 151–153.
7. Шаляев, С.В. Применение инъекционной технологии для науглероживания стали / С.В. Шаляев, А.В. Сычев, Ю.А. Ведерникова, В.И. Жучков, В.Н. Лопатин // *Сб. «Метизное производство в 21^м веке»*. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С. 117–122.
8. Леонтьев, Л.И. Применение инъекционных установок в черной металлургии / Л.И. Леонтьев, В.И. Ильин, В.Н. Лопатин, А.В. Сычев, В.И. Жучков, С.В. Виноградов // *Сб. трудов конференции «Современные проблемы металлургического производства»*. – Волгоград, 2002. – С. 20–22.
9. Лопатин, В.Н. Оборудование для инъекционной металлургии / В.Н. Лопатин, А.В. Сычев, Л.И. Леонтьев, В.И. Жучков, С.В. Виноградов // *Труды 7^{го} конгр. сталеплавильщиков*. М. : ОАО «Черметинформация», 2003. – С. 98–102.
10. Лопатин, В.Н. Особенности конструкции инъекционного оборудования для металлургических предприятий / В.Н. Лопатин, Л.И. Леонтьев, А.В. Сычев, В.И. Жучков, С.В. Виноградов // *Тез. докл. междунар. конф. «Прогрессивные технологии в металлургии стали»*. Донецк: ДОННТУ. 2004. – С. 56–57.
11. Лопатин, В.Н. Конструкции и работа инъекционных установок в металлургии / В.Н. Лопатин, А.В. Сычев, В.И. Жучков, С.В. Виноградов // *Труды 8^{го} конгр. сталеплавильщиков*. – М. : ОАО «Черметинформация», 2005. – С. 580–582.
12. Лопатин, В.Н. Разработка конструкций инъекционных установок и их применение в металлургии / В.Н. Лопатин, Л.И. Леонтьев, А.В. Сычев, В.И. Жучков, Ю.М. Кузнецов, С.В. Виноградов // *Сб. трудов конф. «Физическая химия и технология в металлургии»*. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 134–140.
13. Сычев, А.В. Обработка расплава металла инъекционным методом / А.В. Сычев, В.И. Жучков, Е.Ю. Лозовая // *Сборник трудов международной конференции "Литейный консилиум № 4"*. – Челябинск, 2010 г. – С. 61–63.
14. Лопатин, В.Н. Разработка и производство новых конструкций инъекционного оборудования в ООО "НТМ" и его применение на металлургических

предприятиях / В.Н. Лопатин, А.В. Сычев, Л.И. Леонтьев, В.И. Жучков // Научное издание - Инновационно-технологический центр "Академический": на стыке науки и производства. - Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – С. 40–52.

15. Сычев, А.В. Новое инжекционное оборудование и его применение в металлургии / А.В. Сычев, В.Н. Лопатин, В.И. Жучков // Сб. трудов - Современные проблемы электрометаллургии стали. Материалы XIV Международной научной конференции. Часть 2. - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. – С. 68–73.

16. Устройство для пневмомеханической подачи сыпучих материалов: пат. 34517. Российская Федерация: МПК 7 В 65 G 53/00. // Л.И. Леонтьев, В.И. Жучков, В.Н. Лопатин, А.В. Сычев; заявитель и патентообладатель ИМЕТ УрО РАН, ООО «Новые технологии в металлургии» – Оpubл. 2003, Бюлл. № 3.