

На правах рукописи

Шитов Егор Викторович

**Повышение эффективности металлургического
производства азотсодержащих сталей с целью
стабилизации их служебных характеристик**

Специальность 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург -2007

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Колпишон Эдуард Юльевич

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Свяжин Анатолий Григорьевич

Кандидат технических наук Романов Олег Николаевич

Ведущая организация:

«Государственный научный центр Российской Федерации – Научно-производственное объединение по технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ)»

Защита состоится « 01 » ноября 2007 г. в 18⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.14 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, СПбГПУ, химический корпус, ауд. 51.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан « _____ » _____ 2007 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.229.14,

доктор технических наук, профессор



Кондратьев С.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

К качеству материалов, используемых в энергетическом машиностроении, судостроении, нефтяной и газовой промышленности предъявляются повышенные требования. Особое внимание уделяется механическим и эксплуатационным свойствам, коррозионной стойкости и технологичности этих сталей. Используемые ранее стали уже не могут в ряде случаев удовлетворить требованиям заказчиков, что вызывает необходимость разработки композиций и технологий, обеспечивающих производство нержавеющей сталей, отвечающих самым высоким требованиям условиям эксплуатации. Все большее распространение получают азотсодержащие стали аустенитного класса, отличающиеся высокой прочностью, пластичностью, ударной вязкостью, хорошей коррозионной стойкостью. Использование азота в качестве легирующего элемента позволяет частично или полностью заменить никель, марганец и другие дорогостоящие легирующие элементы.

В настоящее время накоплен достаточно большой объем информации о свойствах азотсодержащих нержавеющей сталей, термодинамике и кинетике растворения азота в металлическом расплаве. Наступает этап, на котором рассматриваются уже способы оптимизации промышленного производства высокоазотистых нержавеющей сталей. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности металлургического производства азотсодержащих сталей с целью стабилизации их служебных характеристик.

Цель работы

Исследовать возможности повышения эффективности производства азотсодержащих сталей, снижения брака и себестоимости продукции.

Задачи исследования

1. Выбрать необходимые технологические параметры выплавки и электрошлакового переплава азотсодержащих сталей для повышения качества изделий.
2. Определить минимальные пределы легирования стали хромом и марганцем, обеспечивающие достаточную растворимость азота для обеспечения необходимого структурного состава стали при выплавке в условиях атмосферного и повышенного давления азота.
3. Найти условия выплавки и режимы продувки металла азотом, обеспечивающие максимальную эффективность легирования и снижение расхода дорогостоящих азотированных ферросплавов.
4. Исследовать качество поковок из кузнечных слитков азотсодержащей стали и определить возможность производства заготовок без применения электрошлакового переплава.

Научная новизна работы

1. Установлен механизм и определены причины трещинообразования при ковке слитков из азотсодержащей стали аустенитного класса, связанные со структурными превращениями в интервале температур пластической деформации.
2. Определены причины низкой ударной вязкости азотсодержащей аустенитной стали, обусловленные возможностью образования нитридов алюминия в ходе затвердевания слитка при ЭСП.
3. Установлена природа и определены причины образования магнитных включений в поковках из азотсодержащей стали аустенитного класса, связанные с изменениями химического состава подокалинного слоя при нагреве под ковку и термической обработке.
4. Определены возможности сокращения содержания марганца и хрома в сталях различного структурного состава за счет увеличения растворимости азота при выплавке в условиях атмосферного и повышенного давления азота.
5. С учетом масштабного фактора, на основе лабораторных и промышленных экспериментов, установлен механизм влияния продувки металла газообразным азотом на эффективность легирования расплава из газовой фазы и азотированных ферросплавов.
6. Исследована поковка из кузнечного слитка азотсодержащей стали, выплавленной с использованием установки внепечного рафинирования и вакуумирования (УВРВ), на соответствие требованиям по качеству, предъявляемым к поковкам из слитков электрошлакового переплава (ЭСП).

Практическая ценность работы

1. Определены основные технологические параметры выплавки в дуговой сталеплавильной печи (ДСП), обработки на УВРВ и последующего электрошлакового переплава стали 12Х18АГ18Ш, обеспечивающие требуемое качество заготовок бандажных колец.
2. Предложены композиции различных по структурному составу экономнолегированных азотсодержащих сталей, что открывает новые возможности для экономии ферросплавов.
3. Определены необходимые пределы расхода газообразного азота для легирования расплава в интервале максимальной технологической эффективности и минимальных затрат на легирование азотированным феррохромом.
4. Определены технологические параметры внепечной обработки азотсодержащей стали, обеспечивающие производство поковок, качество металла которых сравнимо с качеством металла ЭСП.

Апробация работы

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на:

1. XXXIII и XXXIV неделях науки. СПбГПУ в 2004г и 2005г.
2. Заседании металлургической секции НТС ООО «ОМЗ-Спецсталь», Санкт-Петербург, 2005г.
3. Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» Раздел: «Химия и наука о материалах». СПбГПУ. 18-19 мая 2006г.
4. Международной конференции по высокоазотистым сталям - High Nitrogen Steels 2006, Китай, Jiuzhaigou, 2006 г. (2 доклада).
5. Международной научно-практической конференции «От лома до качественной стали», Москва, МИСиС, 2007г.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Возможности повышения эффективности производства изделий из азотсодержащих сталей.
2. Технологические параметры выплавки в ДСП, внепечной обработки и электрошлакового переплава, обеспечивающие требуемое качество бандажных колец.
3. Методика расчета и результаты определения возможности сокращения содержания марганца и хрома в составе аустенитных азотсодержащих сталей за счет увеличения содержания азота при выплавке в условиях атмосферного и повышенного давления азота.
4. Возможность сокращения расхода азотированных ферросплавов за счет легирования металла газообразным азотом путем продувки расплава в печи-ковше.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, общих выводов; содержит 148 страниц машинописного текста, 53 рисунка, 21 таблицу, список литературы из 107 названий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко раскрыта сущность и актуальность рассматриваемых в работе проблем. Изложены: структура работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе представлен обзор литературных данных о современном положении дел в области производства азотсодержащих сталей. Показано, что азотсодержащие стали являются перспективным материалом для производства продукции тяжелого машиностроения. Основной проблемой, препятствующей серийному производству поковок, является низкая эффективность производства.

В первую очередь, низкая эффективность производства связана с проблемами качества, которые снижают выход годного. Затраты на

производство напрямую зависят от полноты использования технологических приемов, направленных на снижение себестоимости конечной продукции.

Развитие способов производства сталей при повышенном давлении азота позволяет получать уникальные по свойствам сплавы, однако, важной задачей является поиск новых композиций экономнолегированных азотсодержащих сталей, полученных методами выплавки при атмосферном и избыточном давлении азота.

Азот является только условно дешевым легирующим элементом, поскольку большинство способов производства азотсодержащих сталей предусматривает легирование расплава дорогими азотированными ферросплавами, что вызывает необходимость более полного использования возможностей легирования стали дешевым газообразным азотом.

Во второй главе представлены и обобщены основные требования по качеству азотсодержащих сталей, изложены методы сбора и обработки данных настоящего исследования. Основным **объектом исследования** выбраны заготовки бандажных колец из аустенитной стали 12X18AG18Ш.

Предметом исследования явилось изучение влияния технологических параметров сталеплавильного передела на качество заготовок бандажных колец из стали 12X18AG18Ш в условиях ООО «ОМЗ-Спецсталь», ОАО «Мечел» и ОАО «Уралмаш».

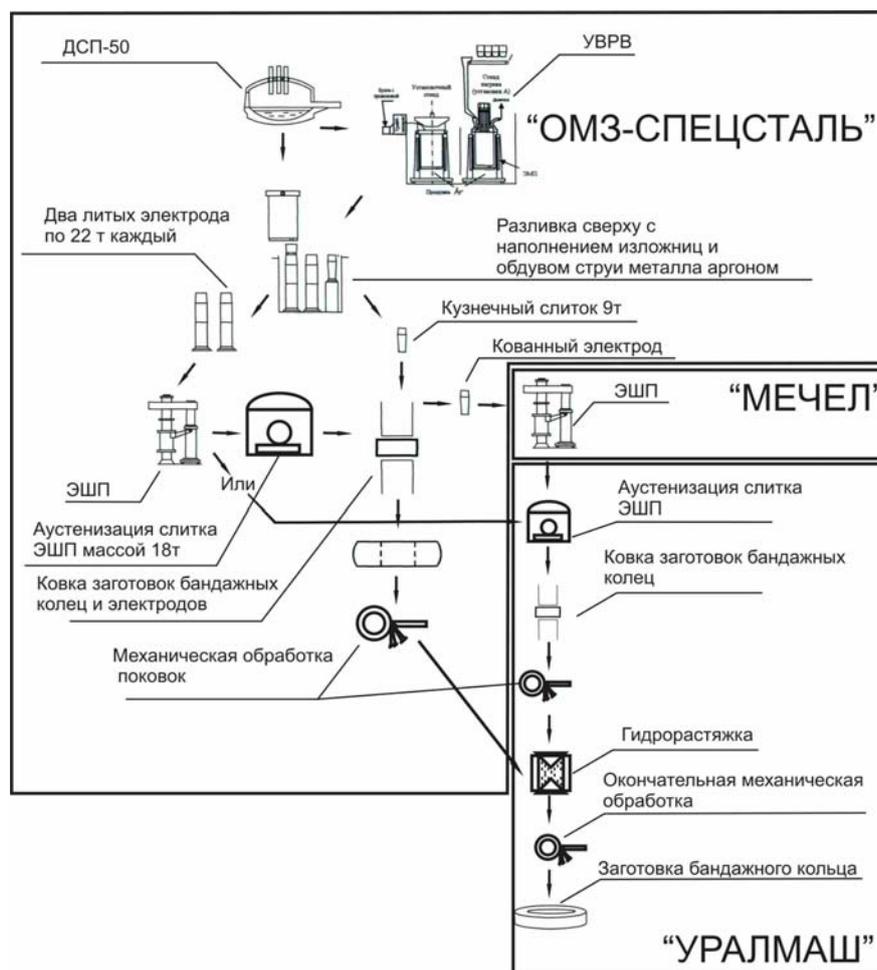


Рис.1 Технологические схемы производства заготовок бандажных колец.

На рис. 1 представлена технологическая схема производства бандажных колец, которая включает в себя выплавку металла в дуговой сталеплавильной печи емкостью 50т в условиях ООО «ОМЗ-Спецсталь». Согласно принятой технологии, масса плавки рассчитывается на отливку двух литых электродов массой 21-22 т и одного кузнечного слитка массой 9т, предназначенного для изготовления ковального электрода, переплавляемого на ОАО «Мечел». Переплав литых электродов и ковка полученных слитков с последующей механической обработкой заготовок осуществляется на ООО «ОМЗ-Спецсталь». Дальнейшая обработка слитков ЭШП массой 6 т, а в ряде случаев и слитков массой 18 т проводится на ОАО «Уралмаш», где производится гидрорастяжка и окончательная механическая обработка.

Исследование причин брака проведено с помощью методов статистической обработки данных, включая: корреляционный и регрессионный анализы, а так же обобщение полученных результатов с помощью графических приложений.

Для анализа влияния технологических параметров выплавки, разливки и ЭШП на качество заготовок проведен сбор данных, включающий отбор проб и образцов металла на различных этапах производства.

Оценка микро и макроструктуры проведена с помощью анализатора изображения «Thixomet». Исследование загрязненности металла неметаллическими включениями выполнено металлографическим методом на нетравленных шлифах в соответствии с ГОСТ 1778-70 и ASTM E 1245-03. Оценка состава и количества неметаллических включений в металле отобранных образцов проведена также петрографическим и химическим анализом осадка, выделенного электролизом.

Термодинамические расчеты проведены в программной среде «MathCAD 13» с использованием термодинамических баз данных, опубликованных в открытой печати. Построение диаграмм состояния многокомпонентных многофазных систем, представляющих собой поверхности растворимости компонентов в металле (ПРKM), выполнено с помощью программы, разработанной на кафедре «Стали и Сплавов» СПбГПУ.

Оценка качества металла исследуемых образцов и металла заготовок бандажных колец проведена на соответствие требованиям ТУ 24.00.4821-89.

Экспериментальные плавки с продувкой металла азотом проведены в индукционной печи с вместимостью тигля 50 кг. Продувка осуществлялась через пористую пробку в дне тигля и через стальную трубку сверху.

Исследование возможности производства поковок из азотсодержащей стали без применения ЭШП проведено путем комплексного изучения поковки из кузнечного слитка массой 9 т.

В третьей главе представлены основные результаты исследования влияния технологических параметров выплавки, разливки и ЭШП на качество металла бандажных колец.

Для выявления причин брака была использована методика построения диаграммы Парето. Анализ проведен по результатам производства 211

заготовок бандажных колец, изготовленных из 39 слитков электрошлакового переплава, общей массой 702 т. Полученные результаты представлены на рис.2.

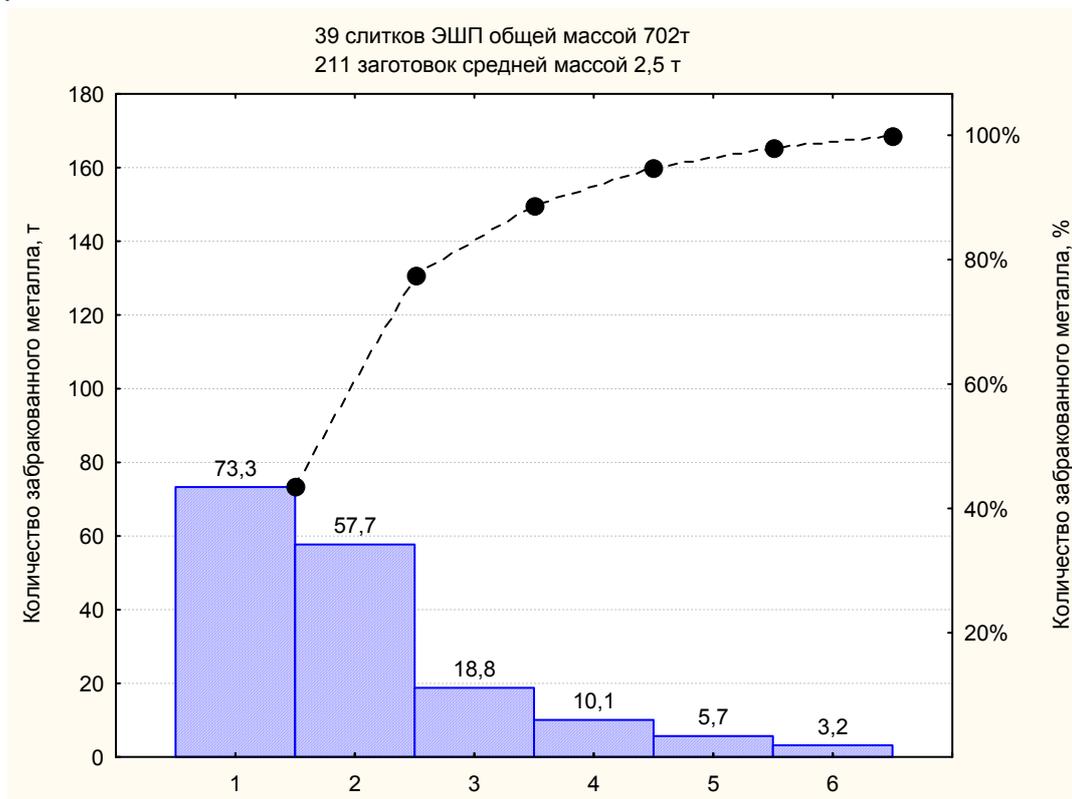


Рис. 2 Распределение причин отбраковки при производстве заготовок бандажных колец из стали 12X18AG18Ш.

Причины отбраковки и отклонений от требований ТУ:

- 1-технологическая пластичность;
- 2-наличие магнитных включений;
- 3-крупное зерно;
- 4-ударная вязкость;
- 5-результаты УЗК;
- 6-геометрические размеры.

Результаты показывают, что в процессе производства заготовок бандажных колец наиболее существенными причинами отбраковки являются: неудовлетворительная технологическая пластичность слитков (трещинообразование при ковке), наличие на поверхности поковок магнитных включений, крупное зерно и низкая ударная вязкость металла. В сумме, процент несоответствий по причинам, рассмотренным в исследованной совокупности, составляет 24%, а окончательный брак 14%.

Низкая технологическая пластичность, крупное зерно и брак по результатам УЗК отмечаются на слитках одних и тех же плавов, низкая ударная вязкость – на других.

Для исследования причин трещинообразования от поверхности поковки был отобран образец с трещинами. При осмотре нетравленной

поверхности микрошлифов установлено, что трещины ориентированы по скоплениям неметаллических включений.

После травления шлифов в местах скопления неметаллических включений наблюдается структура псевдоперлита (азотистого перлита), представляющего собой пластинчатые выделения нитридов хрома в аустенитном зерне. В соответствии с диаграммой равновесия Fe-N-18%Cr-18%Mn образование псевдоперлита возможно в интервале температур 800-900 °С. При температурах концаковки происходит выделение псевдоперлита, что способствует образованию трещин на поверхности поковок. Кроме того, при выделении нитридов хрома происходит обеднение аустенитной матрицы хромом и азотом, в результате чего, химический состав стали изменяется и становится возможным образование мартенсита.

Тот факт, что выделения псевдоперлита наблюдаются в местах скопления неметаллических включений, позволяет утверждать, что неметаллические включения способствуют образованию псевдоперлита, играя роль подложек и тем самым создавая благоприятные кинетические условия для образования второй фазы.

Исследование образцов методом горячего кручения показывает, что результатыковки в промышленных условиях определяются пластичностью металла, максимальной температурой нагрева, выше которой происходит падение пластических свойств, и температурой концаковки, при которой происходит образование псевдоперлита.

Установлено, что верхний предел температурковки, при котором наблюдается падение пластических свойств, связан с возможностью образования высокотемпературной ферритной фазы и определяется соотношением концентраций аустенитообразующих и ферритообразующих элементов. В случае низкого соотношения величин Ni_3 и Cr_3 , в металле, при температурах 1250-1300 °С происходит выделение высокотемпературной ферритной фазы.

Пластические свойства слитков из азотсодержащей стали 12Х18АГ18 зависят от состава и количества неметаллических включений. В наибольшей степени неметаллическими включениями загрязнен металл кузнечных слитков и литых электродов, после ЭШП массовое содержание неметаллических включений снижается в 2-4 раза.

В случае, если металл при выплавке содержал алюминия менее 0,015%, неметаллические включения представлены шпинелями хрома и марганца типа $(FeO, MnO) \cdot Cr_2O_3$. Данные включения обнаруживаются в металле в виде цепочек или скоплений по междендритным участкам, следовательно, образование шпинелей хрома и марганца происходит в конце затвердевания, т.е. данные включения являются третичными.

При содержании алюминия более 0,015% включения состоят из глиноземной шпинели $AlO \cdot Al_2O_3$ округлой формы, размером менее 10 мкм и крупных, достигающих в размерах 200 мкм, алюмосиликатов $(3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)$ остроугольной формы.

Термодинамические расчеты показывают, что образование шпинелей хрома и марганца возможно при затвердевании стали в случае недостаточного содержания алюминия. По ходу ЭШП удаление включений данного типа ограничено, поскольку при плавлении электрода шпинели хрома и марганца диссоциируют и, избежав контакта со шлаком, вновь образуются при кристаллизации слитка.

Сравнительный анализ загрязненности неметаллическими включениями образцов металла, отобранных из ковша в конце обработки на УВРВ и от кузнечного слитка, показывает, что при разливке стали происходит увеличение общего количества неметаллических включений, увеличивается их средний размер и появляются крупные экзогенные включения. Это позволяет утверждать, что в ходе разливки имеет место как вторичное окисление, так и разрушение футеровки промежуточных воронок.

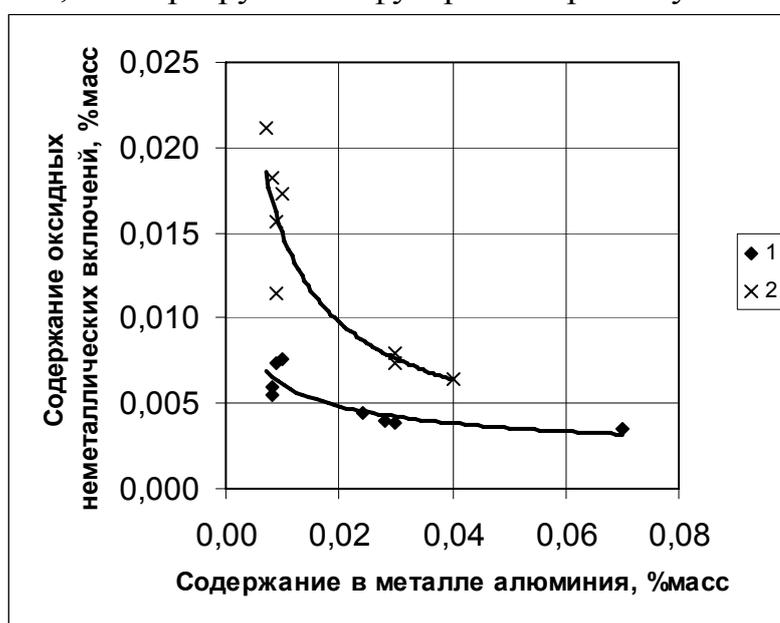


Рис. 3 Зависимость количества неметаллических включений от содержания алюминия: 1- в слитке после электрошлакового переплава, 2- в литом электроде.

Данные рис. 3 показывают, что количество неметаллических включений в литых электродах определяется содержанием алюминия в металле, с увеличением которого общее содержание включений снижается. Аналогичное влияние алюминия на содержание неметаллических включений наблюдается при исследовании металла слитков ЭШП.

В целом, меньшему количеству включений в кузнечных слитках соответствует содержание алюминия более 0,015%, при котором исключено образования шпинелей хрома и марганца. После ЭШП количество включений определяется исходным их содержанием в электроде и степенью удаления, которая тем выше, чем ниже содержание SiO_2 во флюсе.

Результаты корреляционного анализа подтверждают, что технологическая пластичность слитков из стали 12X18AG18 определяется

содержанием в металле алюминия и соотношением концентраций марганца и хрома. Наилучшие показатели технологической пластичности наблюдаются при содержании алюминия 0,015-0,030% и отношении Mn/Cr более 1,048%.

Причиной низкой ударной вязкости является наличие в металле нитридов алюминия, которые обнаружены на поверхности разрушения ударных образцов. Корреляционный анализ позволил установить, что ударная вязкость металла заготовок, содержащего более, чем 0,03% алюминия, ниже требований ТУ. Термодинамические расчеты также показывают, что в стали, содержащей 18% Cr и 18% Mn, образование нитридов типа AlN возможно в конце затвердевания из-за ликвации реагентов, при исходном содержании алюминия в жидкой стали больше 0,03%.

Исследование химического состава металла магнитных включений показало, что этот металл характеризуется пониженным содержанием хрома, марганца и азота, что приводит к образованию ферритной фазы. Основной причиной изменения химического состава стали в областях магнитных включений является обеднение подокалинного слоя этими элементами при нагреве под ковку с образованием окалины, обогащенной оксидами марганца и хрома, а обеднение аустенита хромом и марганцем приводит к снижению растворимости азота и понижению его содержания в металле, что способствует нарушению структурной стабильности, а именно: превращению аустенита с образованием низкотемпературного феррита или мартенсита.

В **четвертой главе** рассмотрены возможности применения различных технологических приемов, направленных на снижение себестоимости изделий из азотсодержащих сталей.

С целью определения возможности снижения содержаний хрома и марганца в составе азотсодержащих аустенитных сталей, разработана методика, заключающаяся в совместном решении уравнений, описывающих зависимости структуры стали и растворимости азота от химического состава металла и парциального давления азота. Предложенная методика позволяет определить минимальные пределы содержаний хрома и марганца, при котором растворимость в металле азота в различных условиях выплавки достаточна для стабилизации заданных структурных составов стали.

Как показывает проведенный расчет, применительно к азотсодержащей аустенитной стали, увеличение давления азота при выплавке на 0,10 МПа позволяет сократить содержание хрома в составе стали на 1,5%. Необходимо учитывать, что для нержавеющей сталей сокращение концентрации хрома ниже 12,5% нежелательно, поскольку это негативно может сказаться на коррозионной стойкости стали.

Марганец оказывает менее сильное, чем хром влияние на растворимость азота и на значение величины никель-эквивалента. При давлении азота 0,30 МПа, в сталях с 18% хрома растворимость азота достаточна для обеспечения стабилизации аустенитной структуры и исключения марганца из состава стали.

На рис. 4 представлены области аустенитных, аустенитно-мартенситных и аустенитно-ферритных структурных состояний в зависимости от содержаний марганца, хрома и парциального давления азота, для которых растворимость азота обеспечивает получение необходимого значения величины N_i , для каждого структурного состояния. Точки показывают фактические содержания хрома и марганца в существующих марках азотсодержащих аустенитных сталей, выплавленных при атмосферном давлении.

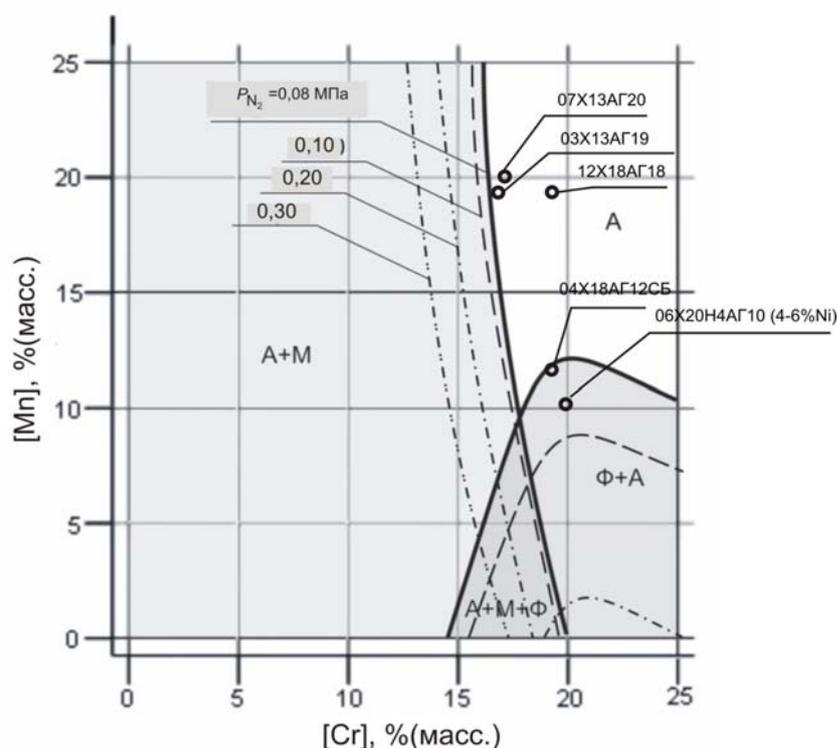


Рис. 4 Структурный состав равновесных азотсодержащих сталей равновесного состава. А - аустенит, Φ - феррит, М – мартенсит.

Полученная расчетным путем диаграмма точно отображает пределы содержаний хрома и марганца, соответствующих требуемому структурному составу.

Продувка металла азотом в условиях экспериментальных и промышленных плавов позволила установить, что эффективность данного технологического приема определяется параметрами продувки. Так, в условиях лабораторных плавов, получены содержания азота в металле до 0,5%, при этом степень усвоения изменяется в пределах 2-9% и определяется степенью раскисленности металла, скоростью продувки и содержанием азота в металле.

Результаты лабораторных плавов показывают, что по мере продувки металла азотом и увеличения его содержания в металле снижается степень его усвоения. Полученные зависимости представлены на рис. 5.

Зная зависимость степени усвоения азота от его расхода можно определить количество азота, переходящего в металл по ходу продувки в соответствии с уравнением:

$$P_э = P_ф \cdot i\% \cdot 0,01,$$

Где: $P_э$ – эффективный расход, кг/т; $P_ф$ – фактический расход азота на продувку, кг/т; $i\%$ – степень усвоения азота в ходе продувки. Кривая эффективного расхода, построенная в соответствии с экспериментальными данными, представлена на рис. 5.

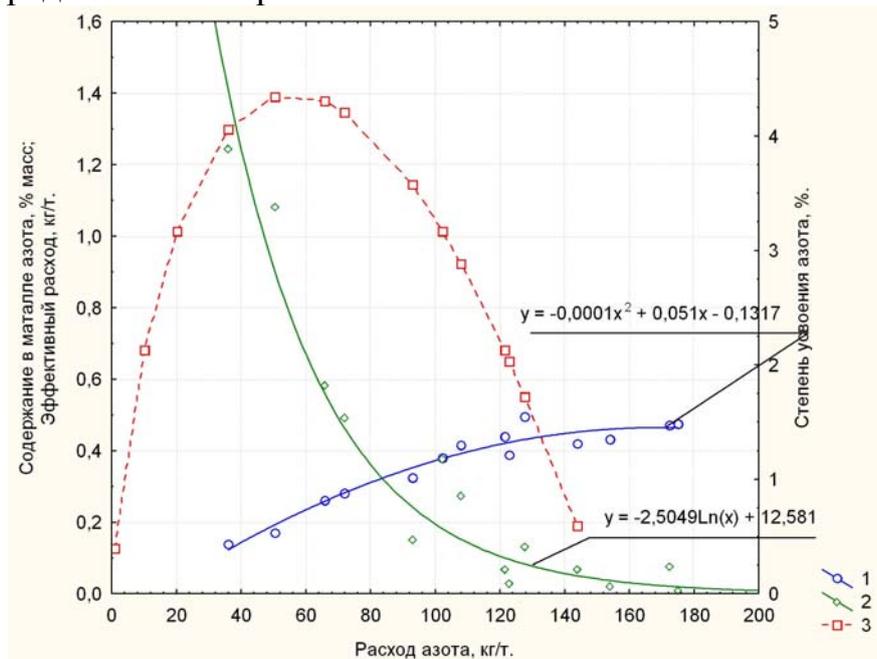


Рис. 5 Влияние удельного расхода азота на его содержание в металле (1), степень усвоения (2), и эффективный расход (3).

Кривая эффективного расхода показывает, что по ходу продувки азот на ранних этапах активно усваивается металлом. На определенном этапе ход кривой изменяется, что связано с изменением механизма насыщения металла азота с кинетического на диффузионный, что в свою очередь определяется содержанием азота в металле (в данном случае 0,3%). После установления диффузионного механизма насыщения металла азотом, по ходу продувки эффективный расход азота снижается и стремится к нулю, что соответствует установлению равновесия между газовой фазой и металлом.

В производственных условиях внепечной обработки стали в ковшах емкостью 70 т, наблюдается повышение содержания азота на 0,011-0,015%, при степени его усвоения 40-43%. Относительно малая величина повышения содержания азота связана с невозможностью обеспечения необходимого расхода газообразного азота при существующей конструкции продувочных узлов. К примеру, в условиях лабораторных плавок расход азота составил 120-170 кг/т, тогда как продувка в ковше через две пористые пробки обеспечивает расход на уровне 0,27-0,34 кг/т.

Более высокая степень усвоения газообразного азота при внепечной обработке определяется большей глубиной ванны, меньшей скоростью продувки, поддержанием достаточной раскисленности металла и возможностью регулирования температуры металла.

При легировании стали 12X18AG18 из расчета получения 0,6% азота в дуговой сталеплавильной печи, расход азотированного феррохрома составляет 120 кг/т. При легировании металла в ковше УВРВ без продувки азотом расход азотированного феррохрома равен 104 кг/т. При внепечной обработке с продувкой металла азотом на протяжении всей плавки, расход азотированного феррохрома снизился до 95 кг/т. Основными факторами, обеспечивающими более высокую степень усвоения азота из азотированного феррохрома, являются: замена азотом аргона при перемешивании металла, усвоение азота из газовой фазы при повышении парциального давления азота над металлом до 0,1 МПа и исключение возможности удаления азота с пузырями аргона.

Результаты исследования заготовки из кузнечного слитка массой 9 т показывают, что в поковке не наблюдается значительной макросегрегации легирующих элементов. Химический состав по всему объему заготовки соответствует требованиям ТУ к металлу ЭШП.

Структура однородная, без пор, крупных экзогенных включений, стабильно аустенитная по всей исследованной поковке. Исключения составляют поверхностные участки, металл которых имеет выделения псевдоперлита по границам зерен и в местах скопления неметаллических включений.

Прочностные свойства ковального металла после охлаждения на воздухе несколько ниже, а пластические свойства выше требований ТУ, энергия разрушения соответствует установленным требованиям, при том, что ТУ регламентируют механические свойства металла после деформационного упрочнения методом гидравлического растяжения и термической обработки. Размер зерна и содержание неметаллических включений соответствуют установленным требованиям.

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают, что основным фактором, влияющим на эффективность производства заготовок бандажных колец из азотсодержащей стали 12X18AG18Ш, является снижение выхода годного из-за существующих проблем качества.

Наиболее остро стоит проблема неудовлетворительной технологической пластичности металла слитков ЭШП, которая определяется, как технологическими параметрами сталеплавильного передела, так и режимамиковки.

Основным требованием, обеспечивающим необходимые пластические свойства кузнечных слитков и слитков ЭШП, является оптимальная морфология неметаллических включений, что обеспечивается получением

стали с необходимым содержанием алюминия. Также необходимым является достаточное соотношение концентраций Mn/Cr ($<1,04$), исключающие возможность образования высокотемпературной δ -ферритной фазы при температурах началаковки.

Основным параметром процесса пластической деформации является температурный интервалковки, верхний предел которого ограничен возможностью образования высокотемпературной ферритной фазы и тем ниже, чем ниже соотношение Mn/Cr. Нижний предел температурковки ограничен возможностью образования псевдоперлита, что не допускает захлаживание поверхности в процессековки, особенно если металл загрязнен шпинелями хрома и марганца, т.к. в этом случае образование второй фазы протекает наиболее интенсивно.

Поскольку содержание в азотсодержащей стали алюминия определяет морфологию оксидных неметаллических включений, и возможность образования нитридов типа AlN, два показателя качества – технологическая пластичность и ударная вязкость сильно зависят от данной величины, что подтверждают данные, представленные на рис. 6.

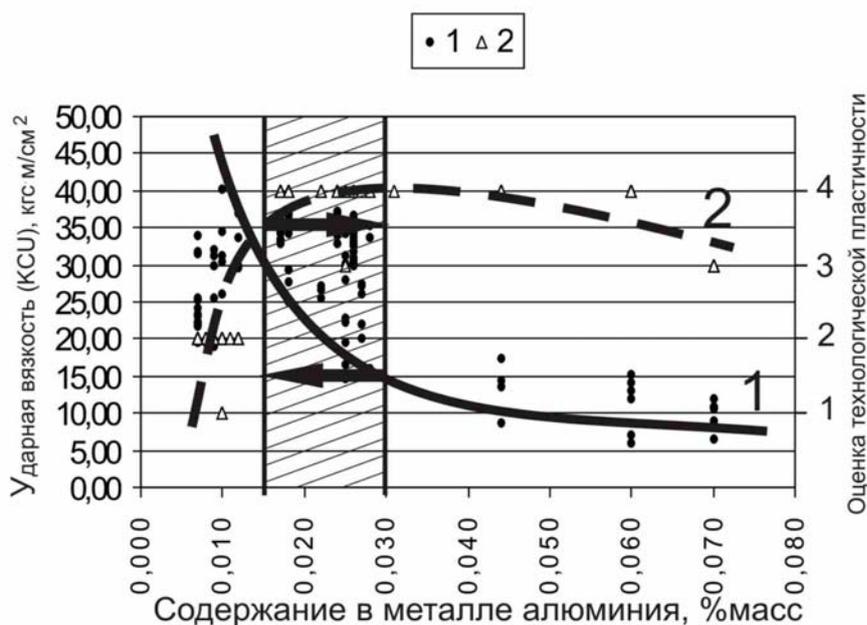


Рис. 6 Влияние алюминия на ударную вязкость (1) и технологическую пластичность стали 12Х18АГ18Ш (2).

Представленный рисунок показывает, что содержания алюминия, обеспечивающие требуемую ударную вязкость и необходимую технологическую пластичность стали, соответствуют диапазону от 0,015% до 0,030%. При более низких содержаниях алюминия наблюдается резкое падение технологической пластичности стали 12Х18АГ18Ш. Верхний предел по содержанию алюминия ограничен падением ударной вязкости стали ниже требований ТУ из-за образования нитридов алюминия.

При низкой технологической пластичности и сужении температурного интервалаковки уменьшается объем деформации за вынос. Уменьшение степени деформации приводит к росту зерна и разнорзернистости, обнаруживаемой при макроконтроле и УЗК. То есть, данные причины брака так же определяются технологической пластичностью, которая в свою очередь зависит от содержания в стали алюминия.

Способом предотвращения образования хромистых и алюмосиликатных включений является присадка более сильного раскислителя, чем хром, марганец и кремний при их фактических содержаниях. В данном случае наиболее перспективно применение кальция. Кроме того, применение кальция позволяет снизить содержание в стали алюминия, и поскольку кальций не способен образовывать нитриды – проблема низкой ударной вязкости исключается.

Если низкая ударная вязкость определяется параметрами сталеплавильного передела, а технологическая пластичность зависит от качества металла и параметровковки, то проблема наличия на поверхностипоковок магнитных включений может быть решена за счет увеличения допуска на мех обработку либо осуществлением обдирки заготовок в процессековки.

Результаты термодинамических расчетов показывают, что снижение себестоимости нержавеющей сталей может быть достигнута за счет снижения содержания хрома и марганца из состава стали, при выплавке в атмосфере азота.

Результаты применения газообразного азота для легирования расплава показывают, что основным фактором, не позволяющим реализовать данный технологический прием в условиях производства, является невозможность подвода газообразного азота в необходимых количествах при существующей конструкции продувочных узлов. Технология легирования металла газообразным азотом на установке ковш-печь весьма перспективна, поскольку в этом случае существует возможность регулирования температурного режима плавки, корректировки химического состава стали и создания над поверхностью металла атмосферы азота.

При нынешнем (по состоянию на апрель 2007г.) соотношении цен на азотированный феррохром (100 р/кг) и газообразный азот (7 р/кг), даже при степени усвоения азота менее чем 1% продувку целесообразно проводить до установления равновесия между газовой фазой и металлом.

Соответствие качества металла после внепечной обработки требованиям к металлу ЭШП делает возможным производство заготовок бандажных колец и других изделий без применения ЭШП, понизить себестоимость конечной продукции, сократить цикл производства, что, в совокупности с принятием мер по решению проблем качества, может существенно увеличить эффективность производства азотсодержащих сталей и значительно расширить область их применения.

Выводы:

1. Установлено, что низкая технологическая пластичность азотсодержащей аустенитной стали обусловлена наличием в металле третичных неметаллических включений, способствующих образованию δ -ферритной фазы при температурах свыше 1250°C и псевдоперлитной структуры при диффузионном превращении аустенита в интервале температур $900-800^{\circ}\text{C}$. В случае захлаживания при ковке псевдоперлитная фаза способствует зарождению трещин на поверхности поковки, а наличие в металле неметаллических включений и высокотемпературной ферритной фазы способствует развитию трещин вглубь заготовки. Благоприятный состав неметаллических включений обеспечивается содержанием алюминия в металле в пределах $0,015-0,030\%$. Температура выделения δ -феррита определяется также соотношением Mn/Cr , и тем ниже, чем ниже данная величина.
2. Обнаружено, что магнитные включения на поверхности заготовок бандажных колец являются α или δ фазой – результатом диффузионного снижения концентраций хрома, марганца и азота в подокалинном слое, образующемся при окислительном нагреве под ковку. Избежать данного дефекта позволяет удаление подокалинного слоя зачисткой слитков и заготовок в процессековки или введение соответствующего увеличенного допуска под механическую обработку.
3. Выявлено, что пониженная ударная вязкость металла определяется наличием в металле третичных включений нитридов алюминия, образующихся при затвердевании слитка электрошлакового переплава при содержании в металле алюминия более $0,030\%$.
4. Разработана методика оптимизации состава хромомарганцовистых азотсодержащих сталей по критерию получения заданного структурного состава при минимальных содержаниях хрома и марганца. Показано, что выплавка и разливка стали в атмосфере азота и при его избыточном давлении позволит снизить содержание хрома и марганца в составе сталей. Увеличение давления азота на $0,10$ МПа позволяет сократить содержание хрома на $1,5\%$. При давлениях более $0,20$ МПа содержания в металле $0,8-1,0\%$ азота достаточно для стабилизации аустенитной структуры и исключения марганца из состава стали.
5. Эффективность легирования металла азотом из газовой фазы при внепечной обработке ограничена низким расходом азота в силу особенностей существующей конструкции продувочных узлов. В целом, применение газообразного азота экономически оправдано при легировании стали 12X18AГ18 до содержаний азота близких к пределу растворимости, несмотря на снижение степени усвоения азота по мере его насыщения расплавом.
6. Исследована поковки из 9-тонного слитка азотсодержащей стали, обработанной на установке печь-ковш. Показано, что уровень ликвации основных легирующих элементов незначителен, чем обеспечивается

стабильность аустенитной структуры в зонах макросегрегации. Механические свойства металла удовлетворительные. Технологическая пластичность, связанная с загрязненностью третичными оксидными включениями и образованием псевдоперлита по границам дендритов, может быть улучшена при оптимизации раскисления и предотвращении вторичного окисления.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Шитов, Е.В. Влияние химического состава стали на ликвацию азота [Текст] / Е.В. Шитов, Э.Ю. Колпишон // Материалы межвузовской научной конференции, XXXIII неделя науки СПбГТУ, Санкт-Петербург, 29 ноября – 4 декабря. 2004. С.- 162-164.
2. Шитов, Е.В. Минимальное содержание хрома для азотсодержащих аустенитных сталей равновесного состава [Текст] / Е.В. Шитов, Э.Ю. Колпишон // Материалы межвузовской научной конференции, XXXIV неделя науки СПбГТУ, Санкт-Петербург, 2005.
3. Шитов, Е.В. Экономнолегированные азотсодержащие марки стали [Текст] / Е.В. Шитов, Э.Ю. Колпишон // Фундаментальные исследования в технических университетах.: Материалы X Всероссийской конференции по проблемам и высшей школы. 18-19 мая 2006 года, Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2006. С- 359-360.
4. Shytov, E.V. Problems of P-900 steel retaining rings production [Текст] / E.V. Shytov, E.Y. Kolpishon, M.V. Ivanova, Y.J. Utochkin, Y.M. Batov // Mmaterials of International Conference on High Nitrogen Steels 2006, August 29-31, 2006, Jiuzhaigou Valley, China.- С. 290-294.
5. Shytov, E.V. An equivalent composition of structure stable High Nitrogen steels [Текст] / E.V. Shytov, E.Y. Kolpishon, M.V. Ivanova, Y.J. Utochkin, Y.M. Batov // Mmaterials of International Conference on High Nitrogen Steels 2006, August 29-31, 2006, Jiuzhaigou Valley, China.- С. 203-208.
6. Шитов, Е.В. Влияние химического состава на технологическую пластичность азотсодержащей аустенитной стали [Текст] / Э.Ю. Колпишон, М.В. Иванова, С.Ю. Афанасьев, Е.В. Шитов // «Электрометаллургия». – 2006. – № 11. – С. 40-44.
7. Шитов, Е.В. Влияние алюминия на содержание кислорода и количество неметаллических включений в стали 12Х18АГ18Ш [Текст] / Э.Ю. Колпишон, М.В. Иванова, С.Ю. Афанасьев, Е.В. Шитов // «Электрометаллургия». – 2006. – № 12. – С. 28-31.
8. Шитов, Е.В. Азотсодержащие стали эквивалентного состава [Текст] / Э.Ю. Колпишон, М.В. Иванова, Е.В. Шитов // «Черные металла». – 2007. – № 2. – С. 10-12.
9. Шитов, Е.В. Возможности сокращения содержаний хрома и марганца в составе азотсодержащих аустенитных сталей. [Текст] / Э.Ю. Колпишон, М.В. Иванова, Е.В. Шитов // «Электрометаллургия». – 2007. – № 5. – С. 23-27.