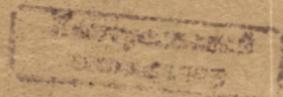


05.16.02
-971

Министерство высшего и среднего специального образования
С С С Р
Челябинский политехнический институт
им. Ленинского комсомола



На правах рукописи

Ощенков Борис Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ПЛАСТИЧНОСТИ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Специальность 05.16.02 -
"Металлургия черных металлов"

Автореферат диссертации на
составление ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск, 1976

Читальный зал
«Челябинский горно-металлургический»
Институт

Работа выполнена из Златоустовской ордена Трудового Красного Знамени металлургическом заводе и в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - профессор, доктор технических наук Половоцкий Д.Я.

Научный консультант - доцент, кандидат технических наук Бурнаков К.К.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук Бутаков Д.К.;
кандидат технических наук
Калинина З.М.

Ведущее предприятие - Челябинский металлургический завод.

Защита состоится " " 1976 г., в часов, на заседании Специализированного Совета К-597/3 по присуждению ученой степени кандидата науки в Челябинском политехническом институте им.Ленинского комсомола (454044, г.Челябинск, 44, пр.им.В.И.Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в Библиотеке института.

Автореферат разослан " " 1976 г.

Ученый секретарь Специализированного Совета-доцент, кандидат технических наук

(Токовой О.К.)

С.Токовой
15.04.76.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Состояние вопроса и актуальность работы. Развитие ряда отраслей современной техники вызывает повышенный спрос на сплавы на никелевой основе и ставит задачи по совершенствованию технологии их выплавки с целью повышения качества и улучшения технико-экономических показателей производства. Однако производство таких сплавов связано с рядом трудностей, вызванных, в первую очередь, высоким сопротивлением их деформации и низкой технологической пластичностью, что является причиной образования дефектов поверхности, низких свойств и высоких материальных затрат. Среди основных работ, посвященных этому вопросу, наибольшее распространение получили два направления: 1) изучение влияния на технологическую пластичность примесей цветных металлов; 2) изучение роли неметаллических включений.

Из числа представителей первого направления одни авторы считают, что примеси образуют металлические легкоплавкие включения, другие отмечают, что ухудшение свойств не связано с низкой температурой плавления свинца, так как последний входит в состав эвтектики с температурой плавления 1300°C .

Для снижения отрицательного влияния примесей ряд исследователей рекомендует использовать присадки щелочноземельных и редкоземельных элементов. Однако подобные выводы сделаны в основном для слитков массой 10 кг при выплавке в лабораторной индукционной печи. Кроме того, среди исследователей нет единого мнения по вопросу облагораживающего действия РЗМ на технологическую пластичность сталей и сплавов в присутствии примесей цветных металлов.

В работах второго направления пониженная пластичность сплавов при горячей деформации предположительно объяснялась наличием в металле силикатных стекол в виде пленок, образующихся из растворенного в металле окисла кремния.

Таким образом, механизм разрушения металла под влиянием примесей цветных металлов изучен недостаточно и результаты исследований противоречивы. При рассмотрении механизма образования пленочных включений основное внимание уделяется кремнию, хотя и хром может служить источником образования низших окислов. Данных о составе пленочных включений мало.

Цель работы. В соответствии с изложенными в реферируемой работе поставлены следующие задачи:

1. Проверить нейтрализующее влияние церия на технологическую пластичность сплава XH75MBTO промышленной выплавки;
2. Изучить влияние пленочных включений на технологическую пластичность никелевых сплавов и определить их качественный состав;
3. Исследовать влияние условий легирования хромом никелевых сплавов (X20H80, XH78T, XH75MBTO) на их технологическую пластичность;
4. Наметить пути рафинирования стандартных ферросплавов от примесей цветных металлов;
5. Разработать технологию выплавки сплавов X20H80, XH75MBTO, XH78T с целью повышения технологической пластичности, выхода годного и улучшения технико-экономических показателей производства этих сплавов.

Научная новизна.

1. Методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа определен фазовый и химический состав включений сплавов на никелевой основе, выплавленных в открытых дуговых 5-тонных печах.

2. На основе исследования особенностей распределения включений по высоте и сечению слитков сплава XH75MBTO открытой выплавки и после ЭШП показан возможный механизм образования пленочных включений и влияние их на технологическую пластичность.

3. Изучены влияние состава плавильного шлака и условия легирования хромом никелевых сплавов на образование включений пленочного типа. Одним из источников их образования наряду с SiO может быть и моноокись хрома.

4. Установлено, что в плавках сплавов X20H80 и XH78T, выплавленных с присадкой хрома в жидкую ванну после расплавления шихты (содержание хрома менее 20%), наблюдается "кипение" расплава за счет выделения пузырьков азота.

Практическая ценность. Результаты исследований позволили получить сплав для легирования на никелевой основе, содержащий молибден и ниобий, и разработать способ его выплавки в открытой дуговой печи. Разработана рациональная технология легирования сплавов хромом путем присадки его в жидкую ванну. Новизна и полезность предложенных решений защищены 4 авторскими свидетельствами.

Реализация работы в промышленности. Результаты исследований внедрены в производство при разработке и совершенствовании технологии выплавки лигатур и сплавов на никелевой основе на Златоустовском ордена Трудового Красного Знамени металлургическом заводе. Экономический эффект от применения лигатур, содержащих молибден и ниобий при выплавке сплава ХН75МБТЮ составил 44,4 тыс.руб., а при выплавке сплава Х20Н80 с присадкой хрома в жидкую ванну - 131,2 тыс.руб в первый год внедрения и 212 тыс.руб. во второй.

Апробация. Материалы диссертации докладывались:

1. На VI молодежной научно-технической конференции в Центральном научно-исследовательском институте им. И.П.Бардина, г.Москва, март 1967г.
2. На Всесоюзном совещании по изучению влияния качества ферросплавов на качество сталей и сплавов, г.Днепропетровск, сентябрь 1968г.
3. На научно-технических советах Златоустовского ордена Трудового Красного Знамени металлургического завода в 1970-1975 годах.
4. На II Всесоюзной конференции по современным проблемам электрометаллургии, г.Челябинск, ноябрь 1974г.
5. На научно-теоретическом семинаре кафедры металлургии стали ЧПИ, октябрь 1975г.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 13 работ, в том числе 4 изобретения.

Объем. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 130 страницах машинописного текста, в том числе 50 таблиц, 45 рисунков. Список используемой литературы содержит 123 наименования.

II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали сплавы на никелевой основе марок Х15Н60, Х20Н80, ХН78Т и ХН75МБТЮ промышленной выплавки с химическим составом по ГОСТу 12766-62 и ГОСТу 5632-72.

Выплавку сплавов производили в 5-тонной дуговой электропечи переплавом легированных отходов с добавлением 40-60% свежих материалов. Для определения пластичности производили испытание металла методом горячего скручивания цилиндрических образцов и на удар на стандартных образцах типа Менаже при температурах 900, 1000,

1100, 1150 и 1200°С. Испытание механических свойств при высоких температурах проводилось в безокислительной атмосфере на установке ИММАШ-5С.

Загрязненность металла неметаллическими включениями и состав пленочных включений изучался комплексом методов: металлографическим, электронномикроскопическим, микрорентгеноспектральным (на приборе "ЭММА") и рентгеноструктурным.

Поведение границ раздела фаз и границ зерна аустенита изучали на высокотемпературном микроскопе МeF, а влияние нагрева на структуру сплавов — на эмиссионном электронном микроскопе ЕР-6.

Электронномикроскопические исследования осуществляли полупрямым методом с использованием образцов двух видов: микрошлифов и изломов.

Содержание газов (азота, кислорода и водорода) определяли методом вакуум-плавления на экскалографе ЕА-1, а содержание примесей цветных металлов — спектрохимическим методом на спектрографе ИСП-22.

III. ВЛИЯНИЕ ЦЕРИЯ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Проверено нейтрализующее влияние церия на технологическую пластичность сплава ХН75ЧБЮ, выплавленного в 5-тонной дуговой печи и разлитого на слитки массой 0,85 т. Содержание примесей цветных металлов, величина присадок церия и характеристика пластичности плавок по группам приведены в табл. I.

Таблица I

Содержание примесей цветных металлов, величина присадок церия и пластичность сплава ХН75ЧБЮ

Группы плавок	Но. п/п	Среднее содержание примесей цветных металлов, %					Расчет- ная присад- ка це- рия, %	Характерис- тика плас- тичности слитков при ковке
		свинец	висмут	олово	сурьма	мышьяк		
I	5	≤0,0001	Следы	0,0002	0,0001	0,0002	Нет	Хорошая.
II	5	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,015- 0,020	Хорошая
III	5	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,015- 0,020	Рванины на заготовках
IV	5	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,005	Хорошая
V	5	≥0,001	0,0006	0,00025	0,00015	0,0018	до 0,03	Трешины на слитках

При низком содержании примесей цветных металлов (вариант I) отсутствие церия практически не влияет на свойства сплава. Ударная вязкость при температуре 1180° составляет 28 кгс/см, число оборотов до разрушения - 15,6. Однако на практике подбор шихтовых материалов с минимальным содержанием примесей цветных металлов связан со значительными трудностями. Для нейтрализации отрицательного влияния указанных примесей применяли присадку церия от 0,005 до 0,03% по расчету. При одном и том же содержании примесей цветных металлов и расчетной присадке церия (на 0,005-0,02%) получены различные результаты по пластичности табл. I (вариант II и Ша). Заготовки из плавок варианта Ша имели равнину. Ударная вязкость образцов при температуре 1180°C составила 11 кгс/см, число оборотов до разрушения - 7,9, а для образцов от плавок варианта II соответственно 27,8 кгс/см и 15,4. В плавках варианта Ша содержание кислорода, азота и водорода (остаточного церия 0,02%) было в два раза выше, чем в плавках вариантов I и II (до 0,01%). При металлографическом исследовании образцов металла, выплавленного по варианту Ша, по границам зерен обнаружены выделения мелкодисперсной фазы.

Для повышения технологической пластичности выплавлено 30 плавок с уменьшенной присадкой церия (0,005%). Металл всех плавок отличался хорошей пластичностью. Ударная вязкость возросла с 11 до 27,8 кгс/см, число скручиваний до разрушения увеличилось с 7,9 до 15,3 оборота. Однако длительная прочность металла, выплавленного по варианту Шб, составила 300 часов против 400-450 часов на плавках по вариантам I и II. При высоком содержании примесей цветных металлов присадки церия до 0,03% не привели к снижению отрицательного влияния свинца и висмута (при деформации на слитках появились грубые трещины, вариант IУ).

Влияние примесей цветных металлов на технологическую пластичность проверялось на сплаве ХН75МБЮ. Для изучения брались плавки А и Б, близкие по химсоставу но с разным содержанием примесей цветных металлов (например, содержание свинца в плавке А было в 5 раз больше, чем в плавке Б).

При ковке слитков плавки А на поверхности заготовки возникали трещины, в слитках плавки Б этого не наблюдалось. Низкая пластичность металла плавки А подтвердилась и при испытании на ударную вязкость.

Фрактографическими исследованиями изломов установлено, что разрушение в обеих плавках интеркристаллическое вследствие наличия на границах пленочных включений различного состава. Более низкая пластичность плавки А объясняется, по-видимому, тем, что при кристаллизации сплава большая часть атомов цветных металлов вытесняется к границам зерен и другим дефектным участкам кристаллитов. Последнее подтверждалось поведением границ зерен при вакуумно-термическом травлении при температуре 1000⁰С и давлении 10⁻⁴ мм рт.ст.; границы зерен оказались более глубокими и широкими, чем в плавке Б. Параметр решетки металла плавки А также значительно отличался от параметра решетки плавки Б (3,5723 и 3,5770 \AA соответственно).

Следует отметить, что в изломе образцов плавки А на некоторых участках среди других пленочных включений идентифицированы микродифракцией мелкие пластинчатые включения состава Fe₄N, дополнительно окрупчивающие металл. Образование нитридов при охлаждении металла, по-видимому, способствовало, во-первых, присутствие в металле несвязанного азота и, во вторых, интенсификация диффузии железа к дефектам кристаллического строения и к границам зерен за счет атомов цветных металлов, частично оставшихся в твердом растворе. Известно, что чем больше разность атомных диаметров примеси и основы (никеля), тем интенсивнее дифундируют в γ-решетке элементы (например, железо) с промежуточными размерами атомов.

Таким образом, примеси цветных металлов самостоятельно и косвенно снижают межзеренную связь при высоких температурах.

IV. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАФИНИРОВАНИЯ ФЕРРОСПЛАВОВ

Одной из трудностей переплава ферросплавов в вакуумной индукционной печи (ВИП) является высокая температура их плавления (1750-1800⁰). Исходя из этого предложен сплав, содержащий никель (38-40%), молибден (23-25%), ниобий (II-13%) и железо (22-24%) и имеющий температуру плавления 1390⁰С. Его получали следующим образом. В ВИП расплавляли никель и в него присаживали расчетное количество ферромолибдена и феррониobia. Жидкий расплав выдерживали при температуре 1580-1620⁰С 30 минут при остаточном давлении 9·10⁻³ мм рт.ст. Во время выдержки производилось электромагнитное перемешивание.

Однако рафинирование ферросплавов в ВИП имеет ряд недостатков: необходимость специального вакуумного агрегата, высокая стоимость передела и малая производительность, трудность получения сплава с низким содержанием железа (менее 22%). Для устранения отмеченных недостатков был разработан способ рафинирования Ni-Mo-Nb лигатуры в открытых дуговых печах. В качестве шихты для выплавки использовали никель, феррониобий, ферромолибден или техническую трехокись молибдена, которую загружали на подину. Никель-молибденовый расплав продували кислородом до содержания углерода 0,05-0,03%. Температура в конце продувки была не менее 1750°C. После продувки ванны кислородом шлак и металл раскипали алюминием и затем добавляли феррониобий. После расплавления феррониobia на никель-молибден-ниобиевый расплав подавали шлаковую смесь, состоящую из 100 кг известняка, 40 кг глинозема и 20 кг плавикового шпата. Через 10-20 минут после введения шлаковой смеси плавку выпускали из печи.

В процессе такой выплавки содержание свинца снижено на 72% (в среднем по 9 плавкам), мышьяка на 90% (по 8 плавкам) и висмута - на 91% (по 5 плавкам). Концентрация сурьмы практически не изменилась.

Проверялось влияние содержания углерода перед продувкой ванны кислородом на удаление примесей цветных металлов. Установлено, что при отсутствии "кипа" (содержание углерода 0,10%) примеси не удаляются. При содержании углерода 0,32% за время продувки количество свинца уменьшилось на 70%, мышьяка на 40%, олова - на 23,0%, висмута на 28,6%.

Известно, что с повышением температуры давление насыщенного пара у Pb, Bi, Sb увеличивается, поэтому высокая температура расплава является одним из необходимых условий удаления примесей цветных металлов.

Ni-Mo-Nb лигатуру использовали при выплавке сплава XН75МБЮ. Качество сплава XН75МБЮ, выплавленного с использованием этой лигатуры, удовлетворяло требованиям технических условий.

У. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГИРОВАНИЯ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

I. Влияние плавильного шлака и контакта жидкого расплава с футеровкой печи на образование сложных включений

Выплавка сплава X20H80 производилась в 5-тонной дуговой элек-

тропечи. Футеровка печи (откосы, подина) были не полностью очищены от остатков предыдущей плавки. Вследствие этого в дальнейшем получили густой шлак (шлак I) с повышенным содержанием MgO . После нагрева металла до 1470° и раскисления шлака отобраны с интервалом 5-10 минут четыре пробы для проверки технологической пластичности. Образцы из всех проб отковались с грубыми рванинами. Часть металла выпустили из печи и отлили слиток массой 0,8 т в изложницу диаметром 405 мм. Затем шлак из печи полностью удалили и завели новый шлак (шлак 2) из извести (80 кг) и плавикового шпата (30 кг). Шлак после расплавления раскисляли такой же смесью из молотого силикокальция и кокса. Пластичность металла резко улучшилась - пробы отковались без рванин.

Содержание кальция и примесей цветных металлов до снятия плавильного шлака и после наведения нового было одинаковым. Химический состав шлака приведен в табл. 2.

Таблица 2
Состав шлака.

№ пробы	Содержание, %								
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	CaF ₂
I	0,4	11,9	7,1	36,9	20,6	5,3	4,1	Следы	II,7
2	0,3	13,5	4,4	52,4	14,6	1,8	Следы	Следы	II,1

Из анализа табл.2 видно, что в шлаке I содержание MgO , Cr_2O_3 , TiO_2 выше. Оставшийся в электропечи металл разлили в слитки массой 1,1т в изложницу диаметром 450 мм. При деформировании (ковке) слитка массой 0,8 т наблюдалось образование большого количества грубых рванин. Слитки массой 1,1 т проковались хорошо.

Влияние состава шлака на технологическую пластичность можно объяснить следующим образом. Шлаки с повышенным содержанием MgO , Cr_2O_3 , TiO_2 менее жидкодвижны и более плотны, вследствие чего в процессе раскисления шлака и металла продукты раскисления задерживаются шлаком (на границе раздела металл-шлак). Последнее способствует сохранению более толстой окисной пленки на поверхности металла, что приводит к резкому снижению скорости удаления всех примесей и насыщению металла монооксидом кремния, представляющим

способ по одним данным газ, по другим пары окисла (при температуре жидкого металла). Наличие моноксида кремния в металле при кристаллизации слитков способствует образованию сложных пленочных комплексов (соединений). При снятии густого и наведении нового жидкотекущего шлака удаляется часть субокислов, что приводит к уменьшению пленочных включений в твердом металле и улучшению его технологической пластичности.

Однако на практике встречаются случаи когда одно и даже двухразовое снятие шлака не улучшает технологической пластичности металла, особенно сплавов типа ХН75МБЮ, легированных титаном, альминием, молибденом и ниобием. В связи с этим было проверено влияние контакта жидкого металла с футеровкой печи и условий легирования на образование пленочных включений.

В 5-тонной дуговой электропечи проводили промывные плавки металлического никеля. Одни и тот же никель переплавляли несколько раз, причем общее время контакта жидкого расплава с футеровкой и шлаком превышало 4 часа при температуре более 1560⁰С. После расплавления и перед выпуском никеля из печи отбирали пробы. Пленочных включений в них не оказалось.

При выплавке в этой же печи сплава Х20Н80 методом сплавления никеля, металлического хрома и отходов той же марки (с загрузкой всех материалов на подиум печи) сразу же после образования первых порций жидкого металла отбирали пробы, в которых были обнаружены пленочные включения.

Из проведенных экспериментов сделаны следующие выводы:

1) густые шлаки с повышенным содержанием MgO , Cr_2O_3 и TiO_2 способствуют образование неметаллических включений пленочного типа;

2) не только контакт жидкого металла с футеровкой и шлаком, но и условия раскисления и легирования оказывают влияние на образование неметаллических включений.

2. Изучение состава пленочных включений

Электронномикроскопические исследования образцов сплавов с низкой технологической пластичностью показали, что в изломах имеется большое количество пленочных включений.

При исследовании нагретых до 1100-1200⁰С образцов в амми-

онном микроскопе выявлено, что границы зерен металла с низкой технологической пластичностью становились более рельефными, и глубокими, чем в металле с удовлетворительной пластичностью, т.е. с меньшим количеством пленочных выделений. Следует заметить, что часть пленочных включений при нагреве до 1150-1200°C в атмосфере аргона в вакуумном микроскопе расплавлялись, в результате чего изменили свои первоначальные формы и сливались.

Размягчение и частичное расплавление пленочных включений при высоких температурах свидетельствует о том, что эти включения, обволакивающие зерна металла, являются участками (центрами) пониженной прочности, где и зарождаются трещины в процессе горячей деформации металла.

3. Распределение пленочных включений в слитке

Изучение проводилось на образцах сплава ХН75МБТЮ с низкой технологической пластичностью, полученного открытой выплавкой и после ЭШП. Установлено, что в структуре изломов имелось два вида включений: первый тип - мелкие пластинчатые включения состава $\text{L}-\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{FeO} \cdot (\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$; второй тип - более крупные состава $(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ и стекловидные включения, расположенные отдельными "колониями".

В состав крупных включений 2-го типа входят тонкие, аморфные, стекловидные пленочные включения. Образование их из гарницах кристаллов способствовали экзогенные включения, оставшиеся в жидком металле в изложнице в виде мелких взвесей размерами менее 10 мкм. Эти включения вытесняются при кристаллизации к границам кристаллитов, где образуют при охлаждении пленочные стекловидные включения. Вследствие того, что наибольшая концентрация более крупных взвесей отмечается в верхней части изложницы (из-за их всплыивания), там следовало ожидать и большее количество включений. Последнее действительно наблюдалось в слитке открытой выплавки.

4. Разработка технологии выплавки сплавов

Результаты исследований позволили наметить основное направление технологии выплавки сплавов на никелевой основе. Поставленная цель достигается присадкой металлического хрома не из подину, а после полного расплавления шихты и раскисления шлака порошком силикокальция или алюминия, а металла-металлическим кальцием.

Выплавку производили переплавом легированных отходов с добавлением свежих материалов. В завалку давали никель и отходы. После расплавления шихты на плавках сплавов Х15Н60, Х20Н80, ХН78Т шлак раскисляли молотым коксом и силикокальцием, а металл ме^л ллическим кальцием в количестве 0,6 кг/т; на плавках сплава ХН75МБТЮ шлак раскисляли алюминиевым порошком в смеси с известью, металлическим кальцием в количестве 0,1 кг/т. Затем присаживали нагретый металлический хром или феррохром (для сплава Х15Н60) и технический глинозем в количестве (5-6 кг/т). Ферроцерий на сплаве ХН75МБТЮ вводился после расплавления хрома (через 10-20 минут после его присадки). После проверки пластичности и химанализа плавки выпускались.

Разливку сплавов Х15Н60, Х20Н80 и ХН78Т производили в изложницы диаметром 550 мм на слитки массой 2,7 т, сплава ХН75МБТЮ и частично ХН78Т - в изложницы диаметром 450 мм - массой 1,1 т под слоем жидкого синтетического шлака. Затруднений в получении нужного состава не было.

На плавках сплавов Х20Н80, ХН78Т и ХН75МБТЮ, выплавленных по новой технологии, в пробах после расплавления содержание окислов хрома было ниже, чем в плавках, полученных по действующей технологии. Содержание окислов хрома в пробах шлака перед выпуском на плавках обоих вариантов оказалось минимальным.

Содержание кислорода и азота в опытных плавках сплавов ХН75МБТЮ и ХН78Т меньше, чем в плавках, выплавленных по действующей технологии. Содержание водорода находилось на одном уровне. Содержание азота в пробах после расплавления (перед присадкой хрома) составило в сплаве ХН75МБТЮ 0,014% в опытных плавках и 0,032% в обычных плавках, в сплаве ХН78Т 0,012 и 0,039% соответственно. Низкое содержание азота в опытных плавках может быть связано с уменьшением растворимости азота при содержании хрома менее 20%.

Следует отметить, что в плавках сплава Х20Н80 и ХН78Т, выплавленных с присадкой хрома в жидкую ванну после расплавления шихты, наблюдалось "кипение" ванны вследствие выделения пузырьков азота (добавки титана и циркония в ложку устраивали рослость пробы, а добавки кальция, силикокальция и ферросилиция не оказывали влияния).

Передел металла осуществляли по действующей на заводе технологии.

гии. Опытные плавки сплавов Х15Н60, Х20Н80, ХН78Т и ХН75МБТЮ имели высокую технологическую пластичность на всех переделах.

5. Изучение качества металла, выплавленного по новой технологии

Ударная вязкость при высоких температурах, длительная прочность, пластические характеристики при комнатной температуре (относительное сужение и относительное удлинение) плавок сплава ХН75МБТЮ, выплавленных с присадкой хрома в жидкую ванну как в литьем, так и деформированном состоянии, выше, чем плавок, полученных по действующей технологии.

Ударная вязкость плавок сплавов ХН78Т, Х20Н80, а также число оборотов до разрушения всех исследуемых сплавов, выплавленных по новой технологии с обычной продолжительностью периода рафинирования, находится на уровне плавок по действующей технологии. Однако при сокращенной рафинировке число оборотов до разрушения при 1200°С на сплаве Х20Н80 увеличилось с 30 до 40.

Содержание азота и водорода в плавках, выплавленных по новой технологии на всех сплавах ниже, а содержание кислорода находится на уровне плавок по действующей технологии.

6. Возможный механизм образования пленочных включений и влияние их на свойства сплава

Результаты исследования сплавов Х20Н80, ХН78Т и ХН75МБТЮ с удовлетворительной и низкой пластичностью показали, что основное различие между ними заключается в пленочных включениях сложного фазового и химического состава. Наиболее загрязненной неметаллическими включениями в слитке открытой выплавки является головная часть, а в слитке ЭШП, наоборот, наибольшее количество аналогичных включений имеется в нижней части. Последнее в значительной мере обусловлено тем, что электроды для ЭШП расплавлялись с головной части по отношению к исходному слитку, где было наибольшее количество включений.

Одни включения при расплавлении электрода внесли в состав сплава такое количество элементов раскислителей, кислорода, которое не растворилось в твердом растворе в осях дендритов. В результате они образовали при кристаллизации и охлаждении слитков ЭШП в межосных участках и на границах кристаллов различные эндогенные

включения. Другие включения, обладая высокой термической устойчивостью, в виде скопившихся комплексов с малонарушенными связями вытесняются в межсегментные участки и на границы кристаллов, где окончательно затвердевают. Количество включений в различных зонах слитка ЭШП находится в прямой зависимости от количества включений в соответствующих зонах исходного электрода.

Повышение технологической пластичности сплавов, выплавленных по новой технологии можно объяснить следующим образом. Присадка металлического хрома в жидкую ванну, вызывая понижение содержания окислов хрома в шлаке и кислорода в металле, при вводе сильных раскислителей уменьшает количество субокислов. Это способствует получению на границах зерен чешуевого количества пленочных включений (особенно на основе хрома) и они не обволакивают границы зерен, как в металле, выплавленном по обычной технологии (с дачей всех материалов в завалку).

VI. ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Разработанная технология проверялась в условиях массового производства на 5-тонных электропечах Златоустовского метзавода. На сплаве Х20Н80 были определены угры металлошахты, продолжительность рафинировки и качественные показатели.

В процессе работы по новой технологии уточнены отдельные технологические параметры, которые отражены в технологической инструкции на выплавку в дуговых электропечах и разливку сплава Х20Н80. Они сводятся к следующему.

1. На дно корзины укладываются около 1 т никеля, в том числе и при использовании крупных листов, затем отходы (не допускается крестообразная укладка длинных блюмов) и сверху оставшийся никель.

2. Количество металлического хрома, присаживаемого в конце плавления, не должно превышать 800 кг для 5-тонной печи. Остальной хромдается в корзину после погрузки всей шихты.

3. Расплавление хрома необходимо вести на ступени напряжения 14I В с выбором мощности 1500-1800 кВт.

4. Температура металла перед вводом хрома должна быть в пределах 1530-1560°C.

5. При малом количестве отходов в шихте разрешается корректировать металл по кремнию присадкой ферросилиция или силикокальция в конце плавления.

6. Продолжительность рафинировки на плавках с дачей хрома в конце плавления должна находиться в интервале 40 мин. - I час.

7. Содержание кальция в готовом металле рекомендуется иметь в пределах 0,025-0,035%.

Внесенные уточнения позволили повысить стандартность ведения плавок, снизить угар металлошахты до 25 кг/т, а также отбраковку по поверхностным дефектам и рванинам в два раза.

Годовой экономический эффект от внедрения технологии легирования сплава Х20Н80 хромом путем дачи его в жидкую ванну на ЗМЗ составил: 131,2 тыс. руб в первый год внедрения и 212 тыс. руб. во второй.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. При кристаллизации сплава ХН75МБТЮ большая часть цветных металлов вытесняется к границам зерен и другим дефектным участкам кристаллов.

2. Примеси цветных металлов, нитриды и карбонитриды железа ослаблиают межзеренные связи, что вызывает понижение технологической пластичности слитков сплава ХН75МБТЮ в процессе горячей деформации.

3. Церий при содержании до 0,01% нейтрализует отрицательное влияние цветных металлов на пластичность сплава, а при более высоком содержании не оказывает положительного влияния.

4. Для повышения технологической пластичности сплава ХН75МБТЮ при многократном использовании одних и тех же отходов и наличии примесей цветных металлов необходимо ограничивать концентрацию железа до 2,0-2,5 %.

5. Разработана лигатура для легирования сплавов на никелевой основе и способ выплавки ее в открытой дуговой печи.

6. Необходимыми условиями рафинирования ферросплавов (лигатур) от примесей цветных металлов в открытой дуговой печи являются: высокая температура расплава (не менее 1700⁰С) и энергичное кипение ванны.

7. Одной из основных причин низкой технологической пластичности и высокотемпературной хрупкости сплавов на никелевой основе являются пленочные включения, выделившиеся по границам зерен.

8. В сплаве ХН75МБТЮ в состав пленочных включений входят NiAl_2O_4 , TiC , $\text{FeO}(\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$, Fe_4N , Me_{23}C_6 , δ - Al_2O_3 , $(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ и аморфные (моноокислы). В составе пленочных включений на границах зерен имеется также свинец.

9. В сплавах Х20Н8О и ХН78Т в состав пленочных включений входят $(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_3$, $\text{FeO}(\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$, λ - Al_2O_3 , Cr_2N , SiC и аморфные моноокислы. В составе включений на границах обнаружены также сера и олово.

10. Разработана рациональная технология легирования сплавов хромом путем присадки его в жидкую ванну. Предложенная технология позволяет:

- а) повысить стабильность технологической пластичности металла от плавки к плавке;
- б) сократить продолжительность рафинировки на 15-20 минут и снизить содержание азота и водорода;
- в) уменьшить угар металлоизделий;
- г) снизить отбраковку металла и повысить выход годного.

II. Разработанные технологические решения внедрены в производство с суммарным экономическим эффектом:

175,6 тыс.руб. в первый год внедрения и

256,4 тыс.руб. во второй.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Ощепков Б.В., Сказин Ю.В. и др. О технологической пластичности сплава ЭИ602.- "Известия АН СССР. Металлы", 1969, №6, с.112-114.

2. Ощепков Б.В., Сказин Ю.В. и др. Причины пониженной технологической пластичности сплава ЭИ602.- "Сталь", 1968, №12, с.1134.

3. Ощепков Б.В., Сказин Ю.В. Усовершенствование технологии производства кованой сутунки.- "Кузнечно-штамповочное производство", 1970, №14.

4. Ощепков Б.В., Рахман Н.Г., Черемных Б.А. Ферросплав для легирования сплавов на никелевой основе. - Бюллетень ин-та "Черметинформация", 1970, №22 (642), с.44-45.

5. Ощепков Б.В., Сидоров Н.В., Черемных Б.А. Влияние церия на технологическую пластичность сплава на никелевой основе.- Бюллетень ин-та "Черметинформация", 1971, №13(657), с.34-35.

6. Ощепков Б.В., Бурнаков К.К. и др. О влиянии плавильного шлака на высокотемпературную пластичность сплава Х20Н8О. - "Известия АН СССР. Металлы", 1972, №3, с.190-193.
7. Ощепков Б.В., Чехомов О.М. и др. Сплавы для легирования.- "Сталь", 1974, №7, с.611.
8. Ощепков Б.В., Повоюцкий Д.Я. и др. Усовершенствование технологии выплавки никромов. - В сб. II Всесоюзная научная конференция по современным проблемам электрометаллургии стали. Тезисы докладов. Челябинск, ЧПИ, 1974.
9. Ощепков Б.В., Бурнаков К.К. и др. Улучшение технологии выплавки никромов.- "Сталь", 1975, №7, с.608-610.
10. Сказин Ю.В., Ощепков Б.В. и др. Сплав для легирования. Авторское свидетельство № 236015.- "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1969, №6, с.86.
- II. Ощепков Б.В., Черемных Б.А., Сказин Ю.В. Способ выплавки сплавов, содержащих никель, молибден и ниобий. Авторское свидетельство № 290057. - "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1971, №2, с.65.
12. Ощепков Б.В., Черемных Б.А., Сказин Ю.В. Шлакообразующая смесь. Авторское свидетельство № 353977. - "Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1972, №30, с.61.
13. Ощепков Б.В., Черемных Б.А., Сухарев В.А. Способ выплавки сплавов. Авторское свидетельство № 379639.-"Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1973, №20, с.86.