

61.02-5/1154-X

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Мешков М.А.

**Исследование и разработка технологии плавки
алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока
с целью металлосбережения, экономии энергозатрат
и улучшения качества выплавляемых сплавов**

Специальность: 05.18.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Макаров Г.С.

Москва 2001 г.

Год: 2001

Автор научной работы:

Мешков, Михаил Алексеевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Место защиты диссертации: Москва

Код специальности ВАК: 05.16.02

Специальность: Металлургия черных, цветных и редких металлов

Количество страниц: 148

Оглавление диссертации кандидат технических наук Мешков, Михаил Алексеевич

Введение

Глава 1. Литературный обзор.

1.1. Классификация плавильных печей для алюминиевых сплавов.

1.2. Принципы выбора печей для плавки алюминиевых сплавов.

1.3. Свойства алюминиевых сплавов как объекта плавления.

1.4. Тенденции развития печей для плавки алюминиевых сплавов.

1.5. Возможности плавки дугой постоянного тока, как нового способа приготовления алюминиевых сплавов.

1.6. Задачи исследования.

Глава 2. Экспериментальное оборудование и методика исследований качества выплавляемых алюминиевых сплавов

2.1. Экспериментальное оборудование.

2.1.1. Лабораторная установка (Л.У.).

2.1.2. Экспериментальный стенд (ЭПС).

2.1.3. Опытный стенд ОКБ

2.2. Методика исследования качества алюминиевых сплавов, выплавляемых способом плазменно-дугового нагрева.

2.2.1. Исследование химического состава сплавов.

2.2.2. Исследование механических свойства сплавов.

2.2.3. Исследование содержания неметаллических включений и водорода в алюминиевых сплавах.

2.2.4. Исследование структуры сплавов.

Глава 3 Разработка и исследование основных конструктивных узлов дуговой печи постоянного тока.

3.1. Исследование дугового разряда печи постоянного тока.

3.1.1. Спектральные исследования дуги постоянного тока.

3.2. Исследование особенностей работы графитового электрода (катода).

3.3. Вольфрамовый катод дуговой печи постоянного тока.

3.4. Подовый электрод - анод.

3.5. Футеровка и ванна печи.

Глава 4 Исследование процесса плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока.

4.1. Математическая модель тепловой работы печи

4.2. Энергетические особенности дуги постоянного тока при плавке сплавов на основе алюминия

4.3. Технологические исследования.

4.3.1. Исследование влияния дуги постоянного тока на химический состав выплавляемых алюминиевых сплавов.

4.3.2. Исследование механических свойств алюминиевых сплавов, выплавляемых с использованием дуги постоянного тока.

4.3.3. Исследование влияния дугового нагрева на содержание водорода и неметаллических включений в алюминиевых сплавах АК7ч, АМгблч, АЦ4Мг

4.3.4. Исследование структуры алюминиевых сплавов, выплавляемых дугой постоянного тока.

4.4 Исследование атмосферы рабочего пространства печи.

Глава 5 Разработка промышленной технологии плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока.

5.1. Металлургические особенности плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока

5.2. Разработка промышленной технологии плавки алюминиевых сплавов в индукционных тигельных печах, оснащенных приставкой постоянного тока

5.3. Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока

5.4. Качество алюминиевых сплавов, выплавляемых в дуговых печах постоянного тока ПСП 0,6/0,7 - И1 (ДДПТ-0,5).

Глава 6 Перспективы развития плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока.

Выводы.

Введение диссертации (часть автореферата)

На тему: **"Исследование и разработка технологии плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока с целью металлосбережения, экономии энергозатрат и улучшения качества выплавляемых сплавов"**

Развитие плавильной техники и технологии плавки алюминиевых сплавов способствует ускорению научно-технического прогресса, повышению эффективности производства, росту производительности труда, улучшению качества выпускаемой продукции.

Важнейшими проблемами выплавки алюминиевых сплавов на современном этапе с позиций ресурсосбережения являются:

- сокращение безвозвратных потерь металла;

- экономия энергетических затрат;

- повышение производительности труда;

- сокращение до минимума вредных выбросов в атмосферу, что исключает потребность в дорогостоящем оборудовании для дымоочистки.

В настоящее время наиболее широкое распространение для плавки алюминиевых сплавов получили пламенные отражательные и индукционные печи. Отличительная особенность печей, используемых в заготовительном и фасоннолитейном производстве, это их емкость и производительность. Если в заготовительном производстве применяются печи емкостью до 120т и производительностью до 25т/час, то в фасоннолитейном производстве их емкость составляет 0,5

- 30т, а производительность достигает ~1 От/час. Печи большей емкости и производительности применяются в литейных цехах крупносерийного производства с ограниченной номенклатурой используемых сплавов.

Характерной особенностью пламенных печей является то, что их емкость и производительность не связаны с какими-либо ограничениями. В связи с этим наибольшее распространение они получили в цехах крупносерийного и массового производства.

К недостаткам пламенных отражательных печей следует отнести:

- большие капитальные затраты при их строительстве, включая строительство газопровода или мазутохранилища, подъездных путей, систем дымоочистки; значительное выделение тепла и продуктов сгорания; возможные выбросы металла при загрузке в печь влажной шихты; низкая стойкость подина из-за значительных ударных нагрузок при завалке шихты и резких теплосмен;
- безвозвратные потери металла до 1,5 - 2% ; высокая насыщенность сплава газами и неметаллическими включениями.

Разработанные, на базе пламенных отражательных печей - шахтные, имеют лучшие технико-экономические показатели. Они более удобны в эксплуатации в части загрузки шихты и возможности использования влажной шихты. Вместе с тем шахтные печи имеют следующие недостатки:

- повышенное содержание в сплаве газовых и неметаллических включений, что свойственно пламенным отражательным печам;
- необходимость организации работы печи в непрерывном режиме;
- сложность конструкции плавильных агрегатов по сравнению с обычными пламенными отражательными печами.

Отражательные электрические печи, по сравнению с пламенными, имеют ограниченное применение. Они не отвечают современным требованиям, как по производительности, так и по уровню механизации. Преимущество электрических отражательных печей в том, что они чистые в экологическом отношении и не требуют установки системы дымоочистки, имеют меньшие безвозвратные потери, более высокий КПД. Выплавляемые в них сплавы отличаются более высоким качеством в связи с меньшим содержанием газа и неметаллических включений. Учитывая невысокую производительность, незначительный угар и более высокое качество выплавляемых сплавов, эти печи часто используются в качестве миксеров, так как для поддержания заданной температуры не требуется большая тепловая мощность и производительность.

Индукционные тигельные печи промышленной частоты в заготовительном производстве используются, в основном, для переплава отходов алюминия и его сплавов, что **связано с низким качеством выплавляемых в них сплавов** в результате его интенсивного перемешивания в процессе плавки и **активного насыщения газовыми и неметаллическими включениями**. В фасоннолитейном производстве, там, где не предъявляют высоких требований к качеству сплавов, индукционные тигельные печи промышленной частоты, ввиду их простоты и надежности применяют значительно чаще. С целью повышения качества сплавов, выплавляемых в индукционных тигельных печах, процесс плавки часто ведется с неполным сливом металла (с подплавкой). Но это приводит к сокращению емкости печи и ее производительности.

Индукционные каналные печи на современном этапе являются одними из наиболее совершенных плавильных агрегатов. Они находят широкое применение, как в заготовительном, так и литейном производстве. За счет спокойного зеркала металла и его магнитогидродинамического перемешивания выплавляемые сплавы имеют достаточно высокое качество и удовлетворяют всем требованиям производства. **К недостаткам этих печей можно отнести:**

- быстрое зарастание каналов;
- необходимость их периодической чистки;
- довольно частые футеровки и перефутеровки;
- вынужденное ограничение мощности печи с целью уменьшения зарастания каналов;
- образование пинч-эффекта - разрывов металла в каналах.

Отмеченные недостатки каналных печей в ряде случаев **создают экономически невыгодные условия** для их использования.

Краткое рассмотрение наиболее широко используемых печей в заготовительном и фасоннолитейном производстве для приготовления алюминиевых сплавов показывает, что усилия исследователей в основном направлены на совершенствование существующих плавильных агрегатов, а принципиально новых технологических решений не просматривается.

Следует отметить, что в настоящее время в нашей стране и за рубежом все большее внимание в технологии машиностроения уделяется вопросам использования высокоэнергетических источников, которые позволяют на их основе создавать новые **высокоэффективные технологические процессы**. Одним из таких процессов является плавка алюминиевых сплавов **дугой постоянного тока или плазменно-дуговая плавка**.

Данная принципиально новая технология плавки может обеспечить:

- резкое повышение производительности плавильных агрегатов;
- минимальные безвозвратные потери металла;
- высокую мобильность процесса;
- повышение качества выплавляемых сплавов;
- улучшение экологических условий.

В настоящее время **дуговые печи на постоянном токе** для выплавки высококачественных сталей и сплавов получают все большее распространение, как в нашей стране, так и за рубежом. Данные печи вобрала в себя весь положительный опыт эксплуатации дуговых сталеплавильных печей на переменном токе, которые **являются самыми надежными и отработанными плавильными агрегатами, как в конструктивном, так и технологическом отношении**[88-91].

Использование дуговых печей для плавки алюминиевых сплавов открывает дополнительные возможности в развитии принципиально новых технологий приготовления легких сплавов. Реализация данной технологии возможна при условии получения ответа на ряд вопросов, связанных с влиянием высокотемпературной дуги постоянного тока на возможное изменение химического состава, структуры и свойств алюминиевых сплавов.

Необходима разработка и создание надежного в эксплуатации плавильного агрегата, который сможет обеспечить наиболее эффективный способ ведения плазменно-дуговой плавки с минимальным уровнем безвозвратных потерь металла.

Решению данных проблем и посвящена настоящая диссертационная работа:
<http://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-tehnologii-plavki-alyuminievyykh-splavov-v-lugovykh-pechakh-postoy>

Заключение диссертации по теме "Металлургия черных, цветных и редких металлов", Мешков, Михаил Алексеевич

Выводы

1. На основании теоретического анализа и экспериментального изучения кинетики процесса плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока предложен новый метод приготовления алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока.

Установлено, что при плавке алюминиевых сплавов дугой постоянного тока куски шихты ведут себя как теплотехнически «толстые» тела, поэтому при интенсивной скорости нагрева с высоким градиентом температуры по толщине каждого нагреваемого куска шихты нагрев, расплавление и перегрев расплава до заданной температуры протекают одновременно.

Показано, что взаимодействие газовой среды печного пространства с алюминиевыми сплавами при горении дуги с графитового электрода незначительно. Активного перемешивания в поверхностных слоях расплава не наблюдается, что способствует получению сплавов с низким содержанием неметаллических включений 0,02 0,11 мм²/см² и водорода 0,07 0,12 см³/100г.

2. Изучено влияние параметров на процесс плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока.

Установлено, что с увеличением силы тока возрастает скорость конвективных потоков печной атмосферы, перемещающихся за счет силы давления вдоль зоны дугового шнура и передающих металлу энергию отработанной плазмы, которая при выходе из дуги, растекаясь по поверхности металла, взаимодействует с ним и нагревает его.

Показано, что стабилизация дуги в процессе плавки обеспечивается разогревом катода и печного пространства, оптимальным подбором наружного и внутреннего диаметров катода и плотностью рабочего тока на нем от 100 до 150 А/см², подачей аргона через внутреннее отверстие катода в начальный период плавки. Стабилизация дуги уменьшает более чем в 8 раз расход аргона и в 3,5 раза эрозию графитового катода.

3. Изучено влияние плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока на потери легколетучих компонентов. Дуга, перемещаясь со скоростью 30 -150 м/сек в виде диффузионного столба, нагревает металл, который в зоне контакта с ней быстро расплавляется и стекает в нижележащие слои шихты, передавая им тепло перегрева. При этом процесс испарения легколетучих компонентов сплава ограничен, так как пары металлов, попадая в дугу, снова возвращаются к поверхности расплава.

4. Исследован процесс газопоглощения алюминиевым расплавом при дуговой плавке в печах постоянного тока.

Установлено, что поток «отработанной» плазмы, практически не содержащий водорода и кислорода, растекаясь по поверхности расплавленного металла, защищает его от печной атмосферы. При горении дуги на жидкую ванну происходит нагрев расплава в зоне контакта с дугой и направленное его движение от пятна привязки диффузионного столба к периферии, где расплав охлаждаясь, отдает водород в граничащие с ним более горячие слои отработанной плазмы, очищая, при этом, металл.

5. Исследовано влияние плавки дугой постоянного тока на качество выплавляемых алюминиевых сплавов АК7ч, АМгблч, АЦ4Мг. Показано, что она позволяет получать алюминиевые сплавы высокого качества, пригодные для изготовления высокогерметичного литья за счет низкого содержания водорода

3 2 2 в среднем 0,09 см³/ЮОг и неметаллических включений 0,06 мм²/см по технологической пробе.

Установлено, что плавка дугой постоянного тока практически не вызывает изменений типовых структур сплавов и обеспечивает более высокий уровень их механических свойств, ав увеличивается на 15-20 %, удлинение в 1,5-2 раза и НВ на 40 - 50 %.

Использование метода плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока рекомендуется для любых видов заготовительных и фасоннолитейных производств.

Особенно целесообразно использовать его для изготовления деталей ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по герметичности и механическим свойствам.

6. Опыт промышленного освоения дуговых печей постоянного тока емкостью 0,5 т показал, что реализуемая в них технология имеет ряд неоспоримых преимуществ: в удельном расходе электроэнергии - 410 - 430 кВт.час/т, уровне безвозвратных потерь в среднем 0,4 %, высокой мобильности процесса, что позволяет в любой момент остановить печь и снова запустить ее в работу, разовой завалке шихты и коротком времени плавки, что коренным образом улучшает организацию плавильных работ и позволяет одному рабочему обслуживать две печи.

Высокая герметичность печи, обеспечивающая отсутствие выбросов вредных примесей, исключает необходимость создания дополнительных устройств по их очистке.

7. Экономический эффект в 1999 г. от внедрения на предприятии ОАО КЭМЗ плавки алюминиевых сплавов дугой постоянного тока в литейном цехе, изготавливающем заготовки методом литья под давлением, в кокиль и под низким давлением, составил 1389000 руб. за счет уменьшения брака литья на 30-35 % после механической обработки, снижения трудоемкости на 4,1 н.час/т, экономии электроэнергии на 20 % и материалов на 24,8 руб/т, экономия за счет снижения угара металла - 409500 руб.

Список литературы диссертационного исследования

кандидат технических наук Мешков, Михаил Алексеевич, 2001 год

1. «Плавка и литье алюминиевых сплавов». Справочник под редакцией В.И. Добаткина. М.: Metallurgy. 1983, С. 351.
2. Rodolos H., Behmann G. Gisserei technik 1973, Bd/9, №1/2. P. 17-54.
3. Андреев А.Д., Гогин В.Б., Макаров Г. С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. М.: Metallurgy, 1980, С. 136.

4. Постников Н.С., Черкасов В.В. Прогрессивные методы плавки и литья алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1973, С. 108.
5. Проспект. Volst-Alpire AG 31/81, 1983.
6. Проспект. ASEA Metallurgy «Worldwide news», № 5, 1983.
7. Партии И.А., Черепок Г.В., Логинов Л.А. и др. «Технология легких сплавов». 1977, № 12. С. 75-79.
8. Постников Н. С., Мельников А. В. Плавка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1971, С. 152.
9. Pugh W.H. // Hight Metal Age, 1976. V. 34, № 7. P.10-12.
10. Курдюмов А.В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Производство отливок из цветных сплавов. М.: Металлургия, 1986, С. 415.
11. Альтман М. Б. Металлургия литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1972, С. 153.
12. Альтман М.Б и др. «Структура и свойства легких сплавов». М.: Наука, 1971. С.105.
13. Gonschtor G., Gierth H., //New Hutte, 1974. №1. P.21-26.
14. Н.Альтман М.Б., Лебедев А.А., Чухров М.В. «Плавка и литье легких сплавов». М.: Металлургия, 1969, С.680.
15. Справочное руководство. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Под. ред. В.И.Добаткина. М.: Металлургия, 1970, С. 416.
16. Диомидовский Д. А. Металлургические печи цветной металлургии. М.: Металлургия, 1970. С. 702.
17. Радин А .Я. Вопросы технологии литейного производства. М.: Обоорнгиз. /Тр. МАТИ. Вып. 49. С. 73-119.
18. Nestler C.G. // Deutscher Verlag fur Stoffmudustries. Leipzig. Veb. Aluminium, 1961. P. 303.
19. Коледов Л.А.// Изв. вуз. Цветная металлургия. М.: 1966. Вып. 4.С.111-113.
20. Корольков А.М. Литейные свойства металлов и сплавов. М.: Наука. 1967. С. 199.
21. Арсентьев П.П., Коледов Л.А. Металлические расплавы и их свойства. М.: Металлургия. 1976. С. 376.
22. Арсентьев П.П., Полякова К.И. // Изв. А.Н. СССР. "Металлургия", 1977. №2. С.63 -70.
23. Кузьмичев Л.В., Майзлин Л.Я., Радин А.Я. и др. // Технология легких сплавов. 1975. №8. С.18-22.
24. Szekey A.G. // Metallurgical transactions. 1976. №7. В. P.259 270.25.// Aluminium Brd. 1969. Bd. 45. №8. P. 391 393.
25. Андреев И.А. // Труды ЦНИИ НКТП. 1975. № 2 3. С. 17 - 40.
26. Rraus T.H.//Neue Hiitte. 1972.17yg. hЮ. P. 581 585.
27. Гогин В.Б., Темчин М.З., Кабаков Г.И. // Технология легких сплавов. 1976. №4. С. 19-23.
28. Глинков М.А. Тепловая работа сталеплавильных ванн. М.: Металлургия. 1970. С. 408.
29. Альтман М.Б., Макаров Г.С. Основы теории плавления алюминиевых сплавов. // Технология легких сплавов. 1983. С. 17-29.
30. Дымов Г.Д. // Технология легких сплавов. 1970. №4. С.42-46.
31. Радин А.Я. Гидродинамика расплавленных металлов. / Труды первого совещания по теории литейных процессов. М.: АН СССР. 1958. С. 237-257.
32. Фурута Сигэо. // Киндзоку. 1975. т.45. №9. С. 38-40.
33. Матрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей. М.: Металлургия. 1972. С. 368.
34. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г. Теплообмен в шахтных печах. Свердловск. Металлургиздат. 1957. С. 279.
35. Reid J.G. // Jron Age, 1968. V. 202. №5. P. 50-52.
36. Mason P.O. // Light metal Age. 1968. V. 26. № 7-8. P.10.
37. DuneyG.//Aluminium BRd 1965.41. №11. P. 31-32.
38. Справочник. Расчеты равновесий металлургических реакций. Крестовников А.Н., Владимиров Л.П. М.: Металлургиздат, 1963. С.416.
39. Тир Л.Л., Свидо А.В., Мешков М.А. Индукционная тигельная печь. А.С. № 943512. СССР. 1980.
40. Справочное пособие. Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Под. ред. А. Мерфи М.: Металлургиздат. 1959. С. 646.
41. Шевцов И.В., Гимпельсон З.Е., Макаров Г.С. // Технология легких сплавов. 1970. №4. С. 106.
42. Малкова В.Е., Устинцев В.У., Кольцов В.М.,Пакалева К.М. // Технология легких сплавов. 1971. №1. С. 42-44.
43. Алов А.А. // Технология легких сплавов. 1968. №6. С. 61-64.
44. Гогин В.Б., Макаров Г.С., Митволь Л.С., Митин В.П. Металловедение сплавов легких металлов. // Технология легких сплавов. М.: Наука, 1970. с.87-91.
45. Макаров Г.С. Плавно-раздаточные агрегаты будущего. // Цветные металлы. 1983. №6. С.80-83.
46. Постников Н.С., Черкасов В.В. Прогрессивные методы плавки и литья алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. 1973. С. 108-224.
47. Мешков М.А., Колесов В.Б. Современные достижения в области плавки рафинирования алюминиевых сплавов. / Сб. трудов. М.: НИИ Импульс. 1982. № 12. С. 17-21.
48. Мешков М.А., Малиновский В.С., Никифорова Н.А. Прогрессивные направления совершенствования процесса плавки алюминиевых сплавов. /Сб. трудов. М.: НИИ-Импульс. 1985. №41. С. 12-16.
49. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. М.: Металлургия. 1961. С. 221.
50. Chang C.W., Steley J.V. Plasma applikations in metals processing. // J.Metals. 1982. №2. P. 57-64.
51. Дубровин А.С, Мальцев Л.Н. и др. Применение плазменного нагрева для получения спецсплавов и лигатур. /Материалы 3-й Всесоюзной конференции. Т. 2. Черноголовка, 1981. С. 97-101.
52. Проспект фирмы ASEA Metallurgy. (Швеция), Worldwide. №5. 1983.
53. Проспект фирмы BBC Nachrichten. (Швеция), № 5. 1984.
54. Андреев А.Д., Гогин В.Б., Макаров Г.С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. 1980. С. 128-130.
55. Патент № 8220381. Швеция. Фирма ASEA. 1982.
56. Патент № 510785. США. Фирма Electric Corporation. 1985.
57. Патент № 3229195. ФРГ. Фирма GMBH. 1982.
58. Патент № 8216323. Англия. Фирма Brittish Steel Co. 1982.
59. Патент № 443916. Швеция. Фирма ASEA. 1982.
60. Патент № 8303332. Швеция. Фирма ASEA. 1984.
61. Патент № 404828. ФРГ. Фирма C. Couradty. 1983.
62. Патент №2545503. Япония. Фирма J. Motte JRSJD. 1984.

63. Патент № 850709. США. Фирма Republic Steel. 1979.
64. Патент № 905584. Швеция. Фирма ASEA. 1982.68. // Metals. 1991, № 2. P. 54-55.69.// Light Metall Age. 1996. V. 54. № 2-3. P.40-42, 44.70.// J Metals. 1994. № 5. p. 249.
65. Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука. 1979. С.241.
66. Мондальфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Metallургия. 1979. С. 130.
67. Плазменно-дуговая плавка стали и чугуна. М.: ВНИИЭТО. Отчет №0.062420. С. 187.
68. Лапщук Т.В., Ладохин С.В., Макеев Ю.В. Электронно-лучевая плавка алюминия и его сплавов. /Науч. тр. АН УССР-Киев. 1982, С. 110-114.
69. Хансел М., Андерко К. Структура двойных сплавов. М.: ГНТИЛЦМ. 1962. С.119.
70. Венякина Е.А., Игнатов И.И., Попов А.Н., Яковлев А.Г. Математическое моделирование тепловой работы дуговой печи. // Электротермия. № 1. 1979. С. 21-26.
71. Абрамов А.А., Зелов В.Б. Водород в литейных алюминиевых сплавах. // Литейное производство. 1984. №1. С. 10-12.
72. Вилсон Д.Р. Структура жидких металлов. М.: Metallургия. 1972. С. 247.
73. Андреев А.Д., Гогин В.Б., Макаров Г.С. Развитие технологии плавления алюминиевых деформируемых сплавов. // Технология легких сплавов. 1981 С.105-109.
74. Альтман М.Б., Лебедев А.А., Чухров М.В. Плавк^ и литье сплавов цветных металлов. М.: Metallургия. 1963. С. 524.
75. Мешков М.А. Индукционно-плазменная плавка алюминиевых сплавов. // Технология легких сплавов. 2000, №3. С. 16-17.
76. Мешков М.А. Особенности процесса плавки алюминиевых сплавов в плазменно-дуговых печах постоянного тока. // Цветные металлы. 2000. №8. С.130-131.
77. Dr. Ing. Erwin Dotsch. " Fortschrittliche Induktionstechnologie zum Schmelzen, Warmhalten und GieBen von Aluminium".
78. TechApplication /СМО 101/ТА - 105384. Printed.
79. [Малиновский В.С.](#), Дубинская Ф.Е. Техничко-экономические и экологические аспекты альтернативных технологий плавки металла в дуговых печах. // [Электрометаллургия](#). 1999. № 3. С.8-16.
80. [Малиновский В.С.](#) Подовый электрод электропечи. / Патент РФ №2112187.
81. [Малиновский В.С.](#) и др. Способ [электроплавки](#) и дуговая печь для его осуществления. / Патент РФ № 2048662.
82. [Малиновский В.С.](#) Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления. / Патент РФ № 2104450.
83. Вебер Р., Марсолетто Л.А., Гуденау Х.В., Грандэн Ф.Х. Альтернативные способы получения стали. // Черные металлы. 1990. № 12. С.19-25.
84. Хайссиг М., Фукс Г., Ауэр И. Технология производства стали в электродуговых печах в двадцать первом веке. / V конгресс [сталеплавильщиков](#). 14-17 октября 1998, г. Рыбница.
85. [Дубинская Ф.Е.](#) и др. Современные тенденции очистки газов электросталеплавильных печей. / Обзор информации. Сер. ХМ-14 ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. М.: 1990.
86. Тулуевский Ю.Н., Устюгов А.А., Попов А.Н., Курлыкин В.Н. Применение высокомошных топливно-кислородных горелок в дуговых сталеплавильных печах. // Актуальные проблемы создания дуговых и руднотермических печей. Сб. науч. тр. ВНИИЭТО. М.:1994. С.26-28.
87. Линчевский Б.В. Теория металлургических процессов. М.: Metallургия, 1995.
88. Андоньев С.М., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. М.: Metallургия, 1979. С. 192.
89. Юфит С.С. Мусоросжигательные заводы помойка на небе. М.: Изд. "Два мира", 1998. С.42.
90. Юн-Сон-Чоль. Пылеобразование в мартеновской печи при интенсификации процесса кислородом. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МИСиС, 1957.
91. Дубинская Ф.Е. Исследование динамики и природы пылевых выбросов конвертеров с верхним кислородным дутьем и разработка газоочистной установки для эффективного улавливания конвертерной пыли. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МИСиС, 1969.
92. Блинов К.А. Повышение эффективности кислородно-конвертерного процесса путей совершенствования дутьевого режима. // Сталь. 1974. № 1. С.20-22.
93. Блинов К.А. и др. Исследование запыленности конвертерных газов при применении многословых фурм. // Сталь. 1973. № 6. С.505-506.
94. Волохонский Я.А., Киссельман М.М., Попов А.Н. Обезвреживание и переработка твердых отходов с использованием электрометаллургических процессов и оборудования. // Электрометаллургия. 1998. № 10. С.35.
95. [Малиновский В.С.](#) Закомаркин М.К., Липовецкий М.М. и др. Требования к конструкции дуговой сталеплавильной печи постоянного тока. // Металлургическая горнорудная промышленность. 1998. №4. С. 18-20.
96. Дубинская Ф.Е., Власова Г.Ф., [Малиновский В.С.](#) и др. Уменьшение пылегазовых выбросов из электросталеплавильных печей постоянного тока. // Сталь. 1991.№ 9. С.85-87.
97. Закомаркин М.К., Липовецкий М.М., [Малиновский В.С.](#) Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока емкостью 25 т на ПО "Ижсталь". //Сталь. 1991. № 4. С.31-34.
98. [Малиновский В.С.](#), Ярных Л.В. Перспектива применения дуговых печей постоянного тока в литейном производстве. // Литейное производство. 1994. № 5.
99. [Малиновский В.С.](#), Дубинская Ф.Е. Оборудование и технология плавки алюминиевых сплавов в дуговых печах постоянного тока. // Литейное производство. 1995. № 2. С. 16-19.
100. Мешков М.А. Исследование процесса плавки алюминиевых сплавов плазменной дугой постоянного тока. 2001. №2. С.20-26.

Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-tekhnologii-plavki-alyuminievyykh-splavov-v-lugovykh-pechakh-postoy#ixzz2VRXcX4Ck>