

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

тема диссертации и автореферата по ВАК 05.16.02, кандидат технических наук Мешков, Михаил Алексеевич

Оглавление диссертации

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 фаон-нолитейном 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 подин 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.

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 компо- / нентов 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 см /ЮОг и неметаллических включений 0,06 мм /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 неоспори

140 мых 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, экономя 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.: Металлургия. 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.: Металлургия, 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. // Night 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.: Metallurgia, 1969, С.680.
15. Справочное руководство. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Под. ред. В.И.Добаткина. М.: Metallurgia, 1970, С. 416.
16. Диомидовский Д. А. Metallургические печи цветной металлургии. М.: Metallurgia, 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 Stoffmndustries. 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. Metallические расплавы и их свойства. М.: Metallurgia. 1976. С. 376.
22. Арсентьев П.П., Полякова К.И. // Изв. АН. СССР. "Metallлургия", 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. Szekeley 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. 1972.17уг. 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.: Metallurgia. 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. Мاستрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей. М.: Metallurgia. 1972. С. 368.
34. Китаев Б.И., Ярошенко Ю.Г. Теплообмен в шахтных печах. Свердловск. Metallургиздат. 1957. С. 279.
35. Reid J.G. // Iron 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 metallургических реакций. Крестовников А.Н., Владимиров Л.П. М.: Metallургиздат, 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.: Metallургиздат. 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. Metallоведение 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.: Metallurgia. 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.: Metallurgia. 1961. С. 221.
50. Chang C.W., Stelely 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 Machrichten. (Швеция), № 5. 1984.
54. Андреев А.Д., Гогин В.Б., Макаров Г.С. Высокопроизводительная плавка алюминиевых сплавов. М.: Metallurgia. 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 С. 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.: Metallurgia. 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.: ГНТИЛЧЦМ. 1962. С.119.
70. Венявкина 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.: Metallurgia. 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. Плавка и литье сплавов цветных металлов. М.: Metallurgia. 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. [Тулуповский Ю.Н.](#), Устюгов А.А., Попов А.Н., [Курлыкин В.Н.](#) Применение высокоомощных 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.: Металлургия, 1995.
88. [Андоньев С.М.](#), Филиппов О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 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 многосопловых [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-tehnologii-plavki-alyuminievyykh-splavov-v-lugovykh-pechakh-postoy#ixzz2VTS4hxx>