

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель магистерской программы

_____ Н.В.Белоусова
подпись, инициалы, фамилия
« ___ » _____ 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

в форме магистерской диссертации

Повышение эффективности очистки расплава в миксерах при производстве плоских слитков

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель д-р хим.наук, профессор,
Белоусова Н.В.

Выпускник Ромашин А.Ю.

Рецензент директор по литейному производству
ПАО «РУСАЛ Братск» Бобков
И.В.

Консультанты канд. экон. наук, доцент
Твердохлебова Т.В.

Нормоконтролер Белоусова Н.В.

Красноярск 2021

Аннотация

Тенденции мировой экономики требуют от производителей алюминиевой отрасли снижение стоимости готовой продукции и повышение качества поставляемых алюминиевых сплавов. На сегодняшний день остро стоит вопрос по качеству производимых плоских слитков, и чтобы достичь этого, производителям алюминия приходится внедрять все более новые и совершенные технологии по очистки расплавов.

В работе рассмотрено и рассчитано воздействие вибрации на качество готовой продукции при формовом литье, а также предложено применение воздействия вибрационных полей на расплав с применением термостойких (высокотемпературных) керамических погружных вибропластин, которые позволят исключить/сократить самую длительную процедуру в рамках приготовления расплава – отстой расплава в миксерах копильниках и раздаточных миксерах, а также повысить качество самого расплава с высокопроцентной дегазацией, выводом легких и тяжелых шлаков и неметаллических включений.

В экономическом разделе рассчитан возможный экономический эффект за счет повышения качества и увеличения объема производимых плоских слитков при условии расширения корзины заказов со стороны потребителя.

Ключевые слова: вибрация, рафинирование, очистка расплава, дегазация, литье, расплав, плоские слитки.

Содержание:

Введение.....	4
1. Алюминий и его сплавы. Обзор способов очистки расплавов	5
2. Использование вибрационного воздействия на расплав как одно из решений очистки	26
2.1 Влияние метода вибрации на расплав.....	26
2.2 Объемная вибрация.....	28
2.3 Механизм влияния вибрации на кристаллизующийся расплав...	31
2.4 Экспериментальные исследования цветных сплавов.....	33
2.5 Теоретические исследования в области влияния вибрации на кристаллизацию металлов.....	38
2.6 Исследование скорости течения расплава по каналу пробы.....	42
2.7 Температурные исследования.....	47
2.8 Термический анализ.....	53
2.9 Расчет контактного взаимодействия отливка-форма под действием вибрации.....	59
2.10 Математическое моделирование затвердевания отливок под действием вибрации.....	61
3. Расчет экономической эффективности вибрационной технологии.....	69
Заключение.....	73
Список использованной литературы.....	75

Список литературы

1. МГД технологии в металлургии / В.Н. Тимофеев [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2013. – 250 с.
2. Тимофеев В.Н. Электромагнитные вращатели, перемешиватели и дозаторы алюминиевых расплавов.: дис. на соиск. уч. степ. д-р техн. наук. 05.09.03 / В.Н. Тимофеев. – Красноярск: КГТУ, 1994. - 410с.
3. Шульга А. В. Вакуумная индукционная плавка: Учебное пособие / А.В. Шульга. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2010. - 64 с.
4. Маракушин Н.П. Индукционная установка для рафинирования алюминиевых расплавов.: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. 05.09.03 /Н.П. Маракушин. – Красноярск: КГТУ, 2002, 171 с.
5. Пат. 2089639 РФ МКИ С22В21/06, Способ рафинирования алюминия и его сплавов, включающий обработку расплава флюсом, продувку газом и фильтрование / А.И. Паленко, С.В. Шустеров, М.П. Кононов, Л.П. Липинский, И.В. Волков, В.А. Васильев, А.П. Оскольских, Г.Ф. Шеметев, Т.А. Чупалова, А.В. Криушин, В.С. Чулков. – Оpubл. 1997. Бюл. №9
6. Велентеенко А.М. Индукционный перемешиватель алюминиевых расплавов в ковшах.: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук 05.09.03 / А.М. Велентеенко. – Красноярск: КГТУ, 2004. – 196с.
7. Пат. 2231006 РФ МКИ С22В21/06, 9/00. Устройство для электромагнитного рафинирования алюминия и сплавов на его основе/ Р.М. Христинич, В.Н. Тимофеев, В.В. Стафиевская, Е.В. Христинич, А.М. Велентеенко. – Оpubл. 2004. Бюл. №21.
8. Пат. 2237091 РФ МКИ С22В9/02, 21/06 Способ рафинирования и его сплавов/ В.Н. Тимофеев, Р.М.. Христинич, В.А. Горбунов, С.А. Бояков, М.В. Первухин. В.В. Стафиевская, А.М. Велентеенко. – Оpubл. 2004. Бюл. №27.

9. Пат. 2240368 РФ МКИ С22В21/06, 9/00. Устройство для электромагнитного рафинирования алюминия и сплавов на его основе / В.Н.Тимофеев, Р.М. Христинич, В.А. Горбунов, С.А. Бояков, М.В. Первухин, В.В.Стафиевская, А.М. Велентеенко. – Оpubл. 2004. Бюл. №32,47
10. Пат. 2233344 РФ МКИ С22В21/06, 9/00. Устройство для электромагнитного рафинирования алюминия и сплавов на его основе/ В.Н. Тимофеев, Р.М. Христинич, В.В. Стафиевская, А.М. Велентеенко. – Оpubл. 2004. Бюл. №21.
11. Слетова Н.В. Создание препаратов для рафинирования и модифицирования Al-сплавов, обеспечивающих стабильные показатели качества отливок.: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. 05.16.04 / Н.В. Слетова. – Минск: БНТУ, 2014, 172с.
12. Пат. 1672737 РФ МКИ С22В9/00 Устройство для рафинирования алюминия и его сплавов/ А.А. Темеров, Ю.М. Гориславец, В.М. Завода, В.Г. Иванов, А.Ф. Колесниченко, В.С. Разумкин. – Оpubл. 1991.
13. Темеров А.А. Электромагнитные явления и преобразование энергии при индукционной плавке алюминия в канальных однофазных печах / А.А. Темеров. – Киев : , 1987. – 116 с.
14. Чернега Д.Ф. Водород в литейных алюминиевых сплавах / Д.Ф. Чернега, О.М. Бялик. – Киев: Тэхніка, 1972. – 148с.
15. Eklund J.E. The types and formation mechanisms of casting defects in aluminium alloy castings / J.E.Eklund, S.S. Voorinen. - 60th World Foundry Congr.-Zoetermeer.- 1993.- P.30.3-30.10.
16. Курдюмов А.П. Производство отливок из сплавов цветных металлов: Учебник для вузов / А.В. Курдюмов, М.В. Пикунов, В.М. Чурсин, Е.Л. Бибииков. - Москва: Металлургия, 1986.- 416с.
17. Martins M.M. Tratamento do aluminio liquido para fundicao [Resumo] / M.M. Martins. - Miner. Met. - 1991.- 55, № 521.- P.14.

18. Turdy M. Zavislost obsahu plynu v hlinikovych taveninach na druhu tavicich peci / M. Turdy, S. Bayer. - Slivarenstvi.- 1969.- Vol. 17, №2.- P.2.
19. Кулагина К.Н. Цветное литье / К.Н. Кулагина. – Москва: Маш газ, 1954. –С. 21–37.
20. Hetke A.L. Let the product drive the process. Part II / A.L. Hetke. - Foundry Manag. and Technol.- 1994.- 122, №10.- P.22-25.
21. Si Naichao / Рафинирование силуминов / Si Naichao, Yin Gany, Hu Daming, Xiao Weimin // Zhuzao Foundry. - 1993.- №1.- P.3-8.
22. Тимошкин А. В. Комплексное рафинирование и модифицирование силуминов методом высокоскоростной струйной обработки расплава: Дис.канд. техн. наук: 05.16.04, 05.16.01 / А. В. Тимошкин. – Москва, 2003. – 210с.
23. Коротков В. Г. Рафинирование литейных алюминиевых сплавов / В. Г. Коротков. –Москва: Свердловск, Машгиз, 1963.- 127 с.
24. Колачев Б.А. Водородная хрупкость алюминиевых сплавов и методы ее предупреждения / Б.А.Колачев. // Технология легких сплавов. – 1994. - № 5–6. – С. 19–28.
25. Курдюмов А.В., Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых сплавов / А.В. Курдюмов, С.В. Инкин, В.С. Чулков, Н.И. Графас – Москва: Metallurgia, 1980. - С. 68–149.
26. Строганов Г. Б. Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы / Г. Б. Строганов. – Москва: Metallurgia, 1985.- 216с.
27. Найдек В.Л. Глубинная обработка расплавов высокотемпературными средами / В.Л.Найдек, А.В.Наривский, В.И.Синичак, Ю.П.Ленда // Литейное производство. – 1992.- №9.- С.5-6.
28. Guo Shu Quin, Reinigen von aluminiumschmelzen durch zugabe von wasserstoff als spulgas imabayashi / Guo Shu Quin, Ichmura M. Aluminium (BRD). – 1985. –61,№12. – S.906-910.

29. Garat M. Progres dans le degazade et la desoxydation des alliages d'aluminium de fonderie le traitement ALPUR appeique aux Calypso / M. Garat Hommes etfonderie.- 1989.- №200.- P.17-20.48
30. Jaunich H. Umweltfreundliches Entgasen und Reinigen von Aluminiumschmelzen in Giereien / H. Jaunich Int GIFA - Kongr. Giessereitechn'94 .-Dusseldorf, 1994. – P.356-365.
31. Пат. 5342429 США, МКИ С 22В21/06. Porification uf molten aluminium using upper and lover impellers / Murrysville Ho Yu, Stevens Judith C.(США); Aluminium Co of America. -№57156; Заявл. 05.05.1993; Опубл. 30.08.1994; НКИ 75 / 680.- 3 с.
32. Fellom, A.M. Foseco / A.M. Fellom // Light Metal Age. – 1994. – Т. 52, № 7-8. – С. 18
33. Fellom, A.M. Hydro Aluminium / A.M. Fellom // Light Metal Age. – 1994. – Т. 52, № 7-8. – С. 18
34. Пат. 5364450 США, МКИС 22В139/05. Moltenmetaltreatment /EckertС.(США). - № 91608; Заявл. 13.07.1993; Опубл.: 15.11.1994.НКИ 75/678.-3с.
35. Томович С. Влияние дегазации алюминиевых сплавов газовой смесью азота и фреона на качество отливок / С. Томович, [и др.] // Литейное производство.-1994.- №7.- С.12-13.
36. Паленко А.И. Исследование кинетики рафинирования алюминиевых расплавов от примесей при обработке газофлюсовыми смесями / А.И. Паленко, [и др.] // Цветные металлы. –1995.- №8.- С.61-64.
37. Задруцкий С.П. Методы, способы, технологии, материалы для производства сложных качественных отливок из алюминиевых сплавов / С.П. Задруцкий, С.П. Королев, Б.М. Немененок, А.Г. Шешко, В.М. Михайловский // Литейщик России. – 2005.- №6.- С.27-34.
38. А.с. 899695 СССР, кл, В 22 В 9/05, 1980 Устройство для рафинирования алюминиевых сплавов / М.А. Мешков, В.И. Рускол, Л.Н.

- Крупнов, В.Б. Колесов и Е.А. Прокофьева (СССР). №2919928/22-02; заявл. 05.05.80; опубл. 23.01.82. Бюллетень №3. – 2 с.
39. Альтгаузен А.П. Электротермическое оборудование: Справочник/ Под общ. ред. А.П. Альтгаузена – 2 – е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980 – 416 с.
40. Электрические печи и установки индукционного нагрева. / Н.И. Фомин., Л.М. Затуловский. - М., «Металлургия», 1979. 247 с.
41. А.с 2337980 РФ, кл, Способ рафинирования алюминия и алюминиевых сплавов в транспортном ковше: Е.Г. Чувашев, С.В. Солдатов, В.Ф. Дроздов, О.П. Белянин (РФ) №2006127068/02; заявл. 10.02.2008; опубл. 10.11.2008. Бюллетень №31.- 6 с.
42. Розенфельд С. Е. О методах динамического воздействия на кристаллизацию отливок. / С. Е. Розенфельд, С. Б. Юдин, М. М. Левин // Литейное производство. - 1957. -№11. С.38-43.
43. Чернов Д. К. Наука о металлах: Сб. Труды / Д. К. Чернов под ред. Н. Т. Гудцова. М.: Metallurgizdat. - 1950.-357 с.
44. Чернышев, И.А. Вибрационный способ литья / И.А. Чернышев. – : Труды ВИИТОЛ, 1951. – С. 124-126.
45. Ершов Г.С. Микронеоднородность металлов и сплавов / Г.С. Ершов, Л.А. Поздняк. - М.: Metallurgiya, 1985. - 215 с.
46. Цуркин В. Н. Оценка эффективности внешнего физического воздействия при внепечной обработке расплава / В.Н. Цуркин, В.М. Грабовый //Литейное производство. - 2003. - № 10. - С. 29–31.
47. Губенко А.Я. Влияние исходного структурного состояния расплава на свойства сплавов / А.Я. Губенко // Литейное производство. - 1991. - №4. -С. 19-20.
48. Рамонов А.А. Литье стали в вибрирующие формы / А.А. Рамонов. – М.: Машгиз. - 1959. - 64 с.
49. Гончаревич И.Ф. Теория вибрационной техники и технологии / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов, - М.: Наука, 1981. - 320с.

50. Батышев А. И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением / А.И. Батышев. - М.: Металлургия. - 1977. - 152 с.
51. Балакин Ю. А. Теоретические основы внешних воздействий на жидкие и затвердевающие металлы / Ю.А. Балакин, М.И. Гладков, Е. Г. Савченко // Труды пятого съезда литейщиков России. - Москва. -2001, - С. 9 - 12.
52. Чебышев В. А. Станок объемной вибрации / А.В. Чебышев // Литейное производство. - 2003. - №7. - С. 21-22.
53. Гудченко А.П. Склонность алюминиевых сплавов к образованию газоусадочной пористости / А.П. Гудченко / Литейные свойства сплавов: Труды первого совещания. - Киев. - 1968. - ч.2. - С. 74–81.
54. Блейкмор Дж. Физика твердого состояния / Дж. Блейкмор. - М.: Металлургия, 1972. - 488 с.
55. Эрдеи-Груз Т. Основы строения материи / Т. Эрдеи-Груз. - М.: Мир, 1976.-478 с.
56. Тягунов Г. В. Связь свойств расплава со структурой и свойствами щ твердого металла / Г.В. Тягунов, Э.В. Колотухин, С.П. Авдюхин // Литейное производство. - 1988. - №9. - С. 8–9.
57. Связь свойств металла в жидком и твердом состояниях / П.В. Гельд [и др.] / Свойства расплавленных металлов: труды XVI совещания по теории литейных процессов. - М.: Наука, 1974. - С. 7-10.
58. Ефимов В. А., Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. / А. В. Ефимов, А.С. Эльдарханов, - М.: Металлургия, 1995. —272 с.
59. Ефимов В. А. Влияние вибрации на теплофизические особенности затвердевания слитков / А. В. Ефимов, А.С. Эльдарханов // Процессы литья, 1995. - № 3. С. 30 – 41.
60. Повышение качества бронзовых отливок при использовании виброобработ-ки / А. Н. Смирнов и [др.] // Литейное производство, 1988, №4. - С.27-28.

61. Влияние вибромеханической обработки в процессе кристаллизации металла на структуру плоских отливок / В.Л. Пилюшенко [и др] // Черная металлургия. - 1993. - №2. - С. 56–58.
62. Эльдарханов А.С. О механизме влияния вибрации на кристаллизующийся расплав / А.С. Эльдарханов // Сталь, 1997. - №12. - С. 18–24.
63. Ефимов В. А. Влияние вибрации на теплофизические особенности затвердевания слитков / А. В. Ефимов, А.С. Эльдарханов // Процессы литья, 1995. - № 3. С. 45 – 48.
64. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов / В.Л. Найдек [и др.] //Литейное производство 2003, - № 9. - С. 13–15.
65. Бочвар А.А. О температурной кривой начала линейной усадки бинарных сплавов / А.А. Бочвар, В.И. Добаткин // Известия АН СССР. 1945. - №1. С. 3–6.
66. Крушенко Г. Г. Литейные сплавы. / Г.Г. Крушенко, А. А. Иванов — Киев: ИПЛ АН УССР, 1972. - С. 196–198.Ефимов В. А. Анализ условий развития конвективного движения расплава в затвердевающей отливке / В. А. Ефимов, А.С. Эльдарханов // Процессы литья. - №19 2. С. 27–40.
67. Гладков М. И. Виброобработка жидкого металла / И. М. Гладков, Ю. А. Балакин // Литейное производство, 2000, №12. - С.7-8.
68. Гаген-Торн В. О. Кристаллизация и строение слитка / В.О. Гаген-Торн. - М.: Металлургия, -1937.-326 с.
69. Хворинов Н. А. Затвердевание отливок / Н.А. Хворинов. - М.: Изд. Иностран. Лит. - 1955. - 182 с.
70. Оно А. Затвердевание металлов. / А. Оно. - М.: Металлургия, 1980. - 152 с.

71. Тен Э.Б Низкочастотная вибрационная обработка жидкого чугуна / Э.Б. Тен, В. И. Воронцов, Го Вы-Минь // Литейное производство, 2000, - №9. - С. 18–22.
72. Гладков М. И. Расчет параметров вибрационной обработки кристаллизующихся металлов / М. И. Гладков, Ю. А. Балакин //Изв. вузов. Черная металлургия, 2003. - №9. - С.56-60.
73. Чернышев И. А. О режиме вибрации сплавов при затвердевании / И. А. Чернышев // Литейное производство, 1953, - №10. - С. 13–18.
74. О механизме воздействия вибрации на кристаллизацию и структурообразование сплавов / В.Л. Найдек [и др.] // Литейное производство. - 2000, - № 9. - С. 13–15.
75. Термодинамический анализ условий зарождения и роста кристаллов при виброобработке металла / М. И. Гладков [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия, 1989. - №9. С.27-29.
76. Иванцов А. А. О механизме влияния упругих колебаний на алюминиево-кремниевые сплавы / А. А. Иванцов, Г.Г Крушенко //Литейное производство. - 2003. - № 2. - С. 2–4.
77. Низкочастотное вибровоздействие на кристаллизующийся расплав в модельном эксперименте / А.Ф. Вишкарев [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлур-гия. - 1986. - № 3. - С. 18–22.
78. Бакалаева Н.А. Влияние технологических факторов на качество сплава АКЮСу / Н.А. Бакалаева, В.М. Карпачев, В.И. Шмидт // Литейное производство. - 1990. - №11. - С. 14–15.
79. Влияние виброобработки расплава на структуру чугуна / В.Ю. Королев [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 1991. - № 11. - С. 21–22.
80. Dolgikh G.A. Effect of vibration of crystal during Bridgman growth under microgravity condition / G.A. Dolgikh [et al] //Mat. Sci. Forum, 1991, v.77, p.43-50.

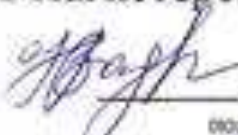
81. Avetissov I.Ch. Visualization of vibrational effects at Bridgman crystal growth. / I.Ch. Avetissov [et al]// XIII International Conference on Crystal Growth July 30-August 4 2001, Kyoto, Japan.- Abstracts, paper 31v-MII-07, 122p.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения
Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель магистерской программы

 Н.В.Белоусова
подпись, инициалы, фамилия
«21» 06 2021 г.


ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

в форме магистерской диссертации

**Повышение эффективности очистки расплава в миксерах
при производстве плоских слитков**

Металлургия цветных металлов (22.04.02.02)

Руководитель

 21.06.21 д-р хим.наук, профессор,
Белоусова Н.В.


Выпускник

 17.06.21 Ромашин А.Ю.

Рецензент

 18.06.21 директор по литейному производству
ПАО «РУСАЛ Братск» Бобков
И.В.

Консультанты

 21.06.21 канд. экон. наук, доцент
Твердохлебова Т.В.

Нормоконтролер

 21.06.21 Белоусова Н.В.