

Металлургиздат, 1960. – 600 с.

8. Еланский Г.Н. Разливка и кристаллизация стали / Г.Н. Еланский. – М.: МГВИ, 2010. – 192 с.

Bibliography:

1. Skrebtsov A.M. The optimum heating temperature of the liquid metal in melting units. Two temperature iron-based alloys / A.M. Skrebtsov // casting process. – 2011. – № 1. – P. 3-9. (Rus.)
2. Liquidus temperature of the metal melt and its effect on the amount of oxide inclusions / A.M. Skrebtsov etc. // Actual problems of modern metallurgy. Collection of scientific works dedicated to 100-anniversary of Professor M. Medzhibozhskogo. – Mariupol: PSTU. – 2012. P. 79-83. (Rus.)
3. Effect of temperature and holding time of the melt in her quality of solidified casting / A.M. Skrebtsov // News PDTU. – № 22. – 2011. – P. 140-144. (Rus.)
4. Wasilewski P.F. Technology Stolny casting / P.F. Vasilevsky. – М.: Mashinostroenie, 1974. – 408 p. (Rus.)
5. Kolosov M.I. Quality of killed steel ingot / M.I. Kolosov etc. – М.: Metallurgy, 1973. – 408 p. (Rus.)
6. Karnaukhov M.M. Metals steel / MM Karnaukhov: Bessemer and Thomas processes, - L. - М.: DSTI НКТР, 1934 - 246 p. (Rus.)
7. Leikin V.E. Electrometallurgy steel and ferroalloys / V.E. Leikin, P.A. Sakharuk. – М., Metallurgy, 1960. – 600 p. (Rus.)
8. Elanskii G.N. Steel casting and crystallization / G.N. Elanskii. – М.: MGVI, 2010. – 192 p. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Ефременко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 25.03.2013

УДК: 621.745.55

© Троцан А.И.¹, Каверинский В.В.², Бродецкий И.Л.³, Воронич В.А.⁴

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ДИСПЕРСНЫМ ПОРОШКОМ Al_2O_3

В условиях лабораторного эксперимента проведено исследование модифицирования отливок из алюминиевого сплава порошком Al_2O_3 . Показано существенное измельчение структуры и возрастание механических свойств в модифицированном металле. Установлена зависимость характеристик структуры и свойств от расхода модификатора.

Ключевые слова: модифицирование, алюминий, отливка, структура, механические свойства, оксид алюминия.

Троцан А.И., Каверинський В.В., Бродецький І.Л., Воронич В.А. Модифікування алюмінієвого сплаву дисперсним порошком Al_2O_3 . В умовах лабораторного експерименту проведено дослідження модифікування виливків з алюмінієвого сплаву порошком Al_2O_3 . Показано суттєве здрібнення структури і зростання механічних властивостей у модифікованому металі. Встановлена залежність характеристик структури і властивостей від розходу модифікатора.

Ключові слова: модифікування, алюміній, виливка, структура, механічні властивості, оксид алюмінію.

¹ д-р техн. наук, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

² вед. інженер, аспірант, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, г.Київ

³ канд. техн. наук, с. н. с., Інститут проблем матеріалознавства НАН України, г.Київ

⁴ магістрант, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

A.I. Trotsan, V.V. Kaverinskiy, I.L. Brodetskiy, V.A. Voronich. Modification of an aluminium alloy by disperse particles. In the conditions of laboratory experiment exploration of modifying of casts from an aluminium alloy by powder Al_2O_3 was is carried out. Substantial structure improvement and increase of mechanical properties in the modified metal is shown. Dependence structure characteristics of and properties on the modifying agent consumption is fixed.

Keywords: *modification, aluminium, cast, structure, mechanical properties, aluminium oxide.*

Постановка проблеми. Эффективным методом улучшения структуры литого металла является модифицирование порошковыми модификаторами, которые становятся центрами принудительной кристаллизации (инокуляторов) [1, 2]. На данный момент в литературе накоплен значительный опыт исследований управления первичным структурообразованием, в том числе при вводе модификаторов второго рода. Однако, вопросы закономерностей изменения структуры и механических свойств деформируемых алюминиевых сплавов в исходном (литом) состоянии за счёт ввода инокуляторов изучены недостаточно. При этом известно, что они могут оказывать существенное влияния на показатели качества сплава в деформированном и термообработанном состоянии. Таким образом, задача экспериментального исследования влияния модифицирования на характеристики алюминиевых сплавов типа дюралюминов в литом состоянии является актуальной и научно обоснованной.

Анализ последних исследований и публикаций. Ранее в работах [3, 4] нами рассмотрено применение инокуляторов для модифицирования железоуглеродистых сплавов. Данный подход применим и при разливке цветных металлов и сплавов, в частности алюминиевых. В качестве инокуляторов них известны примеры использования порошков интерметаллида $TiAl_3$, SiC , TiN или TiC [5]. В данной работе рассмотрено применение в качестве модификатора порошка Al_2O_3 , основным достоинством которого является его доступность по сравнению с вышеперечисленными вариантами.

Цель статьи – установление закономерностей изменения характеристик структуры и механических свойств алюминиевого сплава при вводе в качестве инокулятора порошка оксида алюминия.

Изложение основного материала. Материал и методика эксперимента. Из алюминиевого сплава марки Д16 было отлито 12 цилиндрических образцов диаметра 27 мм, высотой 50 мм. Разливка осуществлялась в чугунные формы, внешнее поперечное сечение которых составляло 100×85 мм, высота – 80 мм. Температура металла в разливочном ковше $750^\circ C$, температура воздуха в помещении $15^\circ C$. Изготовлено три типа образцов (по 4 штуки): без добавления модификатора, с добавлением 0,05% и 0,10% порошка Al_2O_3 . Фракция порошка составляла 10...30 мкм. Модификатор вводился в разливочный ковш перед разливкой, расплав подвергался перемешиванию. Микроструктуры образцов исследовались на металлографическом микроскопе МИМ-8. Травление производилось в 7% растворе КОН в течении ~ 1 мин и ~ 15 мин. Твёрдость измерялась по методу Викерса.

Результаты исследования микроструктуры. На рисунке 1 приведены микроструктуры образцов, из которых видно заметное измельчение зерна при модифицировании.

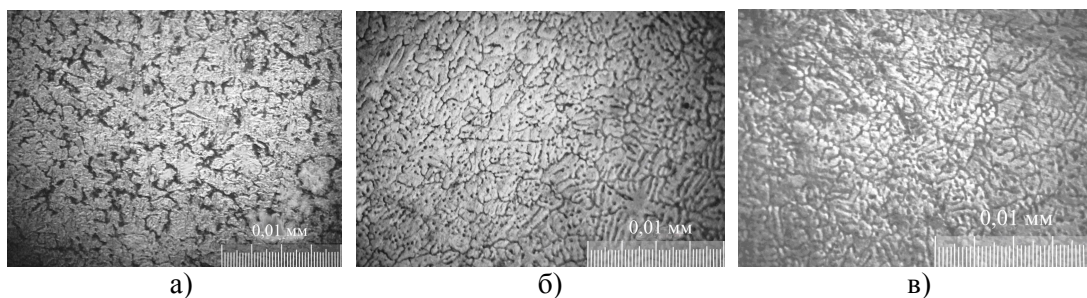


Рис. 1 – Микроструктура опытных образцов: а) не модифицированный; б) модифицированный 0,05% Al_2O_3 ; в) модифицированный 0,10% Al_2O_3

Характеристики микроструктуры приведены в таблице 1. Различия в параметрах структуры образцов одного типа для всех групп статистически незначимы, следовательно, сравнение совокупных данных корректно.

Более длительное травление (~15 мин) позволило установить, что кристаллы объединены в конгломераты, размер которых составляет 0,25...0,50 мм в сравнительных и 0,13...0,30 в опытных отливках.

Таблица 1

| Тип обработки | Численные характеристики микроструктуры | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| | Интервал варьирования | Средние значения и доверительный интервал (надёжность 99%) |
| Без модифицирования | 24 – 160 | 74 ± 7,5 |
| Модифицированный 0,05% Al ₂ O ₃ | 14 – 113 | 41 ± 2,6 |
| Модифицированный 0,10% Al ₂ O ₃ | 10 – 106 | 34 ± 2,7 |

Из представленных данных видно, что средний размер зерна в модифицированных и немодифицированных образцах существенно различается. Отсутствие перекрытия доверительных интервалов говорит о статистической значимости различия средних значений. Размер зерна имеет во всех случаях сильный разброс, интервалы варьирования перекрываются. Однако следует отметить, что в модифицированных образцах, в сравнении с немодифицированными, мелких зёрен значительно больше, а крупных меньше. Разница между модифицированными 0,05% и 0,10% Al₂O₃ выражена слабее. Можно отметить, что в модифицированных 0,10% Al₂O₃ размеры наиболее крупных и наиболее мелких зёрен несколько меньше. Тем не менее, сравнение средних [6] показывает статистическую значимость различия.

Таким образом, ввод модификатора Al₂O₃ обеспечивает измельчение среднего размера зерна в 1,8...2,2 раза. Увеличение расхода модификатора с 0,05% до 0,10% приводит к дополнительному измельчению микроструктуры на 17%.

Определение механических свойств. Результаты измерения механических свойств образцов приведены в таблице 2, из которой видно, что ввод модификатора оказывает влияние на показатели твёрдости и прочности. Сравнение средних значений твёрдости между однотипными образцами в каждом из случаев показало статистическую незначимость разницы, что позволяет объединять данные по каждому типу для сравнения соответствующих групп между собой (немодифицированных, модифицированных с расходом порошка 0,05% и расходом 0,10%).

Таблица 2

| Тип обработки | Влияние модифицирования на механические свойства образцов | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------|
| | Твёрдость, кгс/мм ² | σ _в , Н/мм ² |
| Без модифицирования | 56,1 – 84,5 * | 205 – 305 |
| Модифицированный 0,05% Al ₂ O ₃ | 69,9±3,2 | 245±11 |
| Модифицированный 0,05% Al ₂ O ₃ | 71,3 – 101,6 | 260 – 370 |
| Модифицированный 0,10% Al ₂ O ₃ | 83,9±3,3 | 305±12 |
| Модифицированный 0,10% Al ₂ O ₃ | 80,5 – 116,1 | 290 – 420 |
| Модифицированный 0,10% Al ₂ O ₃ | 96,3±5,6 | 350±20 |

* числитель – интервал варьирования, знаменатель – среднее ± доверительный интервал

Сравнение значений твердости немодифицированных образцов с модифицированными с расходом модификатора 0,05% показало, что сводный доверительный интервал, для степени надёжности 95% равный 5,2, значительно меньше разницы средних, составляющей 14,0. Следовательно, увеличение твёрдости при вводе 0,05% модификатора статистически значимо. При сравнении не модифицированных образцов с модифицированными при расходе модификатора

0,10% было установлено, что дисперсии неоднородны и сравнение проводилось по методу из работы [7]. Разница средних значений, составляющая 26,4 значительно превосходит значение Т-критерия, рассчитанного для 95% надёжности, составляющего 7,2. Следовательно, ввод 0,10% модификатора также приводит к значительному повышению твёрдости.

Была проведена статистическая проверка значимости различия твёрдости образцов при модифицировании с расходом модификатора 0,05 и 0,10%. Дисперсии в этом случае также оказались неоднородны. Разница средних значений твёрдости составила 12,4, что больше Т-критерия для степени надёжности 95% составляющего 9,8. Следовательно, увеличение расхода Al_2O_3 до 0,10% приводит к статистически значимому увеличению твёрдости. Таким образом, нами установлено, что ввод порошка Al_2O_3 , с расходом 0,05...0,10% (по массе) при производстве отливок из алюминиевых сплавов позволяет увеличить твёрдость и прочность металла. При вводе 0,05% модификатора твёрдость и прочность возрастают в 1,23 раза, а при вводе 0,10% - в 1,41 раза по сравнению с не модифицированным металлом. Увеличение расхода с 0,05 до 0,10% позволяет повысить твёрдость и прочность на 13 – 15%.

На графиках рисунка 2 приведены зависимости средних значений размеров зерна, твёрдости и предела прочности от расхода модификатора, из которых видно, что измельчение структуры хорошо коррелирует с ростом механических свойств. Увеличение расхода модификатора с 0,05% до 0,10% приводит к не столь значительным изменениям, как ввод 0,05% по сравнению с немодифицированным металлом.

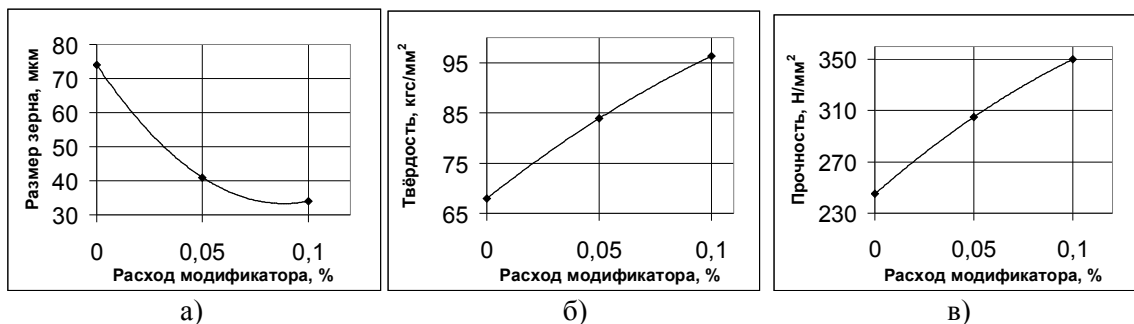


Рис. 2 – Зависимость средних значений размеров зерен (а), твёрдости (б) и предела прочности (в) от расхода модификатора

Выводы

1. Показано, что ввод порошка оксида алюминия Al_2O_3 фракцией 20...40 мкм в расплав алюминия обеспечивает существенное (в 1,8 – 2,2 раза) измельчение микроструктуры, что обеспечивает повышение твёрдости и предела прочности в 1,2 – 1,4 раза.
2. Увеличение расхода модификатора с 0,05% до 0,10% приводит измельчению структуры на 17%, что сопровождается ростом твёрдости и предела прочности на 13 – 15%.

Список использованных источников:

1. Гольдштейн Я.Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Исследование модифицирования металла нанопорошковыми инокуляторами в кристаллизаторе сортовой машины непрерывного литья заготовок. Теоретическое обоснование / В.П. Комшуков, А.Н. Черепанов, Е.В. Протопопов [и др.] // Известия ВУЗ. Чёрная металлургия. – 2008. – №8. – С. 10-11.
3. Троцан А.И. Оптимизация модифицирования железоуглеродистых расплавов дисперсными порошками тугоплавких соединений / А.И. Троцан, В.В. Каверинский, И.Л. Бродецкий // Актуальные проблемы современной металлургии. – Мариуполь, 2012. – С. 92-101.
4. Троцан А.І. Визначення оптимальних вихідних розміру і маси часток модифікатору методом скінчених різностей / А.І. Троцан, В.В. Каверинський, І.Л. Бродецький // Металознавство та обробка металів. – №2. – 2011. – С. 54-57.
5. Калинина Н.Е. Модифицирующая обработка литейных силуминов дисперсными компози-

цями / Н.Е. Калинина, А.О. Кавац, В.Т. Калинин // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – №7. – С. 16-19.

6. Тимошенко Г.М. Теория инженерного эксперимента / Г.М. Тимошенко, П.Ф. Зима. – К.: УМК ВО, 1991. – 124 с.
7. Блохин А.В. Теория эксперимента. Часть 1. / А.В. Блохин. – Мн.: БГУ, 2002. – 68 с.

Bibliography:

1. Goldstein Ja.E. / Modifying and microalloying of iron and steel / Ja.E. Goldstein, V.G. Mizin. – М: Metallurgy, 1986. – 272 p. (Rus.)
2. Exploration of metal modifying by nanopowder inoculators in a sort continuous casting machine crystallizer. Theoretical substantiation / V.P. Komshukov, A.N. Tcherepanov, E.V. Protopopov [etc.] // *Informations HIGH SCHOOL. Iron and steel industry*. – 2008. – №8. – P. 10-11. (Rus.)
3. Trotsan A.I Optimization of iron-carbon melts modifying by the disperse powders of high-melting compounds / A.I. Trotsan, V.V. Kaverinskiy, I.L. Brodetskiy // *Actual problems of the modern metallurgy*. – Mariupol, 2012. – P 92-101 (Rus.)
4. Trotsan A.I / Determination of an optimum initial size and mass of modifying agent particles by method of finite differences / A.I. Trotsan, V.V. Kaverinskiy, I.L. Brodetskiy // *Physical metallurgy and treatment of metals*. – №2. – 2011. – P. 54-57. (Ukr.)
5. Kalinina N.E. Modifying treatment of foundry silumins by the disperse compositions / N.E. Kalinina, A.O. Kavats, V.T. Kalinin // *Aerospace technique and technology*. – 2008. – №7. – P. 16-19. (Rus.)
6. Timoshenko G.M Theory of engineering experiment / G.M. Timoshenko, P.F. Zima. – К: ТМС НЕ, 1991. – 124 p. (Rus.)
7. Blohin A.V. Experiment theory. Part 1 / A.V. Blohin. – Мн.: BSU, 2002. – 68 p. (Rus.)

Рецензент: И.Ф. Ткаченко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 01.02.2013