

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 669.154.002.61

Скребцов А.М.¹, Иванов Г.А.², Кузьмин Ю.Д.³, Качиков А.С.⁴

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ВЫДЕРЖКИ РАСПЛАВА ПРИ НЕЙ НА КАЧЕСТВО ЗАТВЕРДЕВШЕЙ ОТЛИВКИ

На алюминиевом сплаве АК9 нашли, что нагрев его до 700, 800 и 900 °С с выдержкой расплава 10 мин. приводит к максимуму твердости затвердевшего металла. Впервые ниже точки солидуса сплава обнаружен «эффект затвердевания последних капель жидкого металла».

Ключевые слова: Температура нагрева, выдержка жидкого металла, шлифы, твердость.

Скребцов О.М., Иванов Г.О., Кузьмин Ю. Д., Качиков О.С. Влияние температуры и часу витримки розплаву при неї на якість затверділий вилівки. На алюмінієвому сплаві АК9 знайшли, що нагріваючи його до 700, 800 і 900 °С з витримкою розплаву 10 хв. приводить до максимуму твердості затверділого металу. Вперше нижче за точку солідусу сплаву виявлений «ефект твердіння останніх крапель рідкого металу».

Ключові слова: Температура нагріву, витримка рідкого металу, шлифи, твердість.

A.M. Skrebtsov, G.A. Ivanov, J.D. Kuzmin, A.S. Kachikov. Effect of temperature and melt holding time on the quality of the solidified casting. In the aluminum alloy AK9 it was found that heating it to 700, 800 and 900 °C with an exposure of the melt for 10 minute. leads to a maximum hardness of the hardened metal. For the first time below the “effect solidification of the last drops of liquid metal” was found. solidus of the alloy.

Keywords: heating temperature, exposure of the liquid metal, grind, hardness.

Постановка проблемы. Известно, что в жидких металлах при их нагреве до некоторых критических температур T_1 на кривых физических свойств (вязкость, плотность, электропроводность и т.п.) могут наблюдаться аномалии (разрывы кривых, перегибы, скачки, выход кривых на линейную зависимость и т.п.)

Анализ последних исследований и публикаций. При охлаждении расплава от T_1 часто возникает гистерезис свойств (кривая свойств при нагреве и охлаждении не совпадают). Температуру T_1 разные авторы называют и характеризуют по-разному. Так, например, Б.А. Баум при осуществлении термовременной обработки расплавов ТВО [1] считает, что при T_1 “энергия теплового движения частиц расплава становится соизмеримой с энергией разрыва наиболее прочных межатомных взаимодействий в неравновесных атомных ассоциациях.” В.И. Никитин полагает, что T_1 - это температура потери наследственных свойств шихты [2]. По теоретическому расчету В.И. Архарова величина T_1 есть температура полного разупорядочения кластеров [3]. По А.М. Скребцову [4] (обобщения подобных температур Б.А. Баума, В.И. Никитина и других авторов, а также данных рентгенодифракционных исследований жидких металлов) температура T_1 соответствует моменту достижения расплавом равновесной микронеоднородности. При этом, начиная от T_1 до T_1 и более высоких температур, размеры кластеров уменьшаются практически линейно и монотонно.

Из практики производства жидких металлов известно, что в плавильных агрегатах величина T_1 является оптимальной для достижения максимальных качеств затвердевшего расплава [1-4]. Несмотря на некоторые успехи в определении оптимальных температур нагрева металла при его плавке, недостаточно еще данных по вопросам качества твердого металла при высоких

¹д-р. техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

²аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

³ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

⁴магистр, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

перегревах жидкого над точкой ликвидуса [5,6]. Практически не решен вопрос влияния времени выдержки расплава при максимальном нагреве на качество затвердевшего металла.

Цель статьи - получить новые данные по влиянию температуры нагрева расплава и времени выдержки при ней на качество затвердевшего металла и структурные превращения в нем.

Изложение основного материала. Опыты по влиянию температуры нагрева металла и времени выдержки при ней провели на алюминиевом сплаве АК9. Шихту плавил в стальном тигле при нагреве его нихромовыми спиралями до базовых температур 700, 750, 800, 850, 900 и 950 °С. Температура ликвидус сплава колебалась в зависимости от скорости охлаждения расплава в пределах 597-608 °С, среднее значения 602 °С. Перегрев сплава над линией ликвидус в градусах Кельвина $T/T_{л}$ был в опытах соответственно 1,12; 1,17; 1,23; 1,28; 1,33 и 1,39. Выдержка расплава при максимальных температурах его нагрева составляла в минутах - 0, 10, 20. Расплав после выдержки в тигле заливали в литейную песчаноглинистую форму диаметром 50мм., высотой 120 мм., и измеряли температуру охлаждения с точностью 0,5 °С. Для этого использовали прибор ТРМ-138Р. Каждый опыт по температуре и времени выдержки расплава повторяли три раза.

Кривую охлаждения обрабатывали для определения температур структурных превращений в расплаве и в твердом металле по характеру изменения эффективной температуропроводности методом А.М. Скребцова и А.О. Секачева [7]. Затвердевшую отливку разрезали по продольной оси с помощью механической пилы. Поверхность разреза металла шлифовали и разделили на 9 горизонтальных параллельных линий. В пяти точках каждой линии измеряли твердость по Бринелю с помощью прибора марки ТЭМП-3.

На рис.1 приведена средняя твердость образцов металла в зависимости от максимальной температуры нагрева жидкого расплава.

Из рисунка видно, что твердость металла с температурой нагрева расплава изменяется не монотонно. Можно считать, что для достижения максимальных свойств затвердевшего металла оптимальными температурами нагрева расплава для сплава АК9 является 700, 800 и 900 °С. Для сравнения отметим, что в работе [5] на алюминиевом сплаве АЛ2 оптимальные температуры нагрева жидкого расплава были 750,850 °С т.е. в тех же пределах.

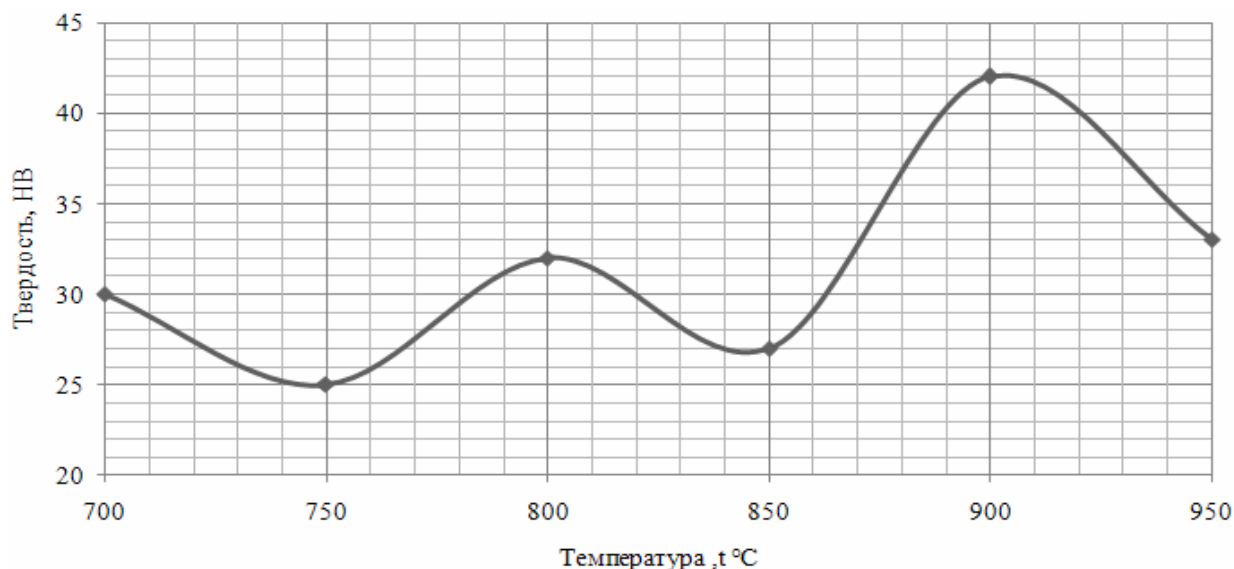


Рис.1 - Твердость образцов металла НВ в зависимости от максимальной температуры t нагрева расплава (на одну базовую температуру проведено 9 опытов, каждая точка среднее из 405 измерений твердости)

На рис.2 представлена средняя твердость образцов в зависимости от времени выдержки расплава при принятых базовых температурах.

Из рисунка видно, что оптимальное время выдержки расплава с максимумом твердости металла в рассматриваемом случае оказалось 10 минут. Для сравнения отметим, что в работе [4] описан случай температурной обработке серого чугуна марки СЧ 21-40 при нагреве его в интервале температур 1350-1550 °С и выдержки при этой температуре 10 или 30 или 60 мин. Оказалось, что

продолжительность оптимальной выдержки расплава при максимуме служебных свойств твердого составляет 30 мин. т.е. того же порядка, что и для сплава АК9. Таким образом, можно констатировать, что оптимальные выдержки расплавов при высоких температурах лежат в пределах 10-30 мин. Для более надежного определения этой величины нужны дополнительные эксперименты на расплавах различных металлов.

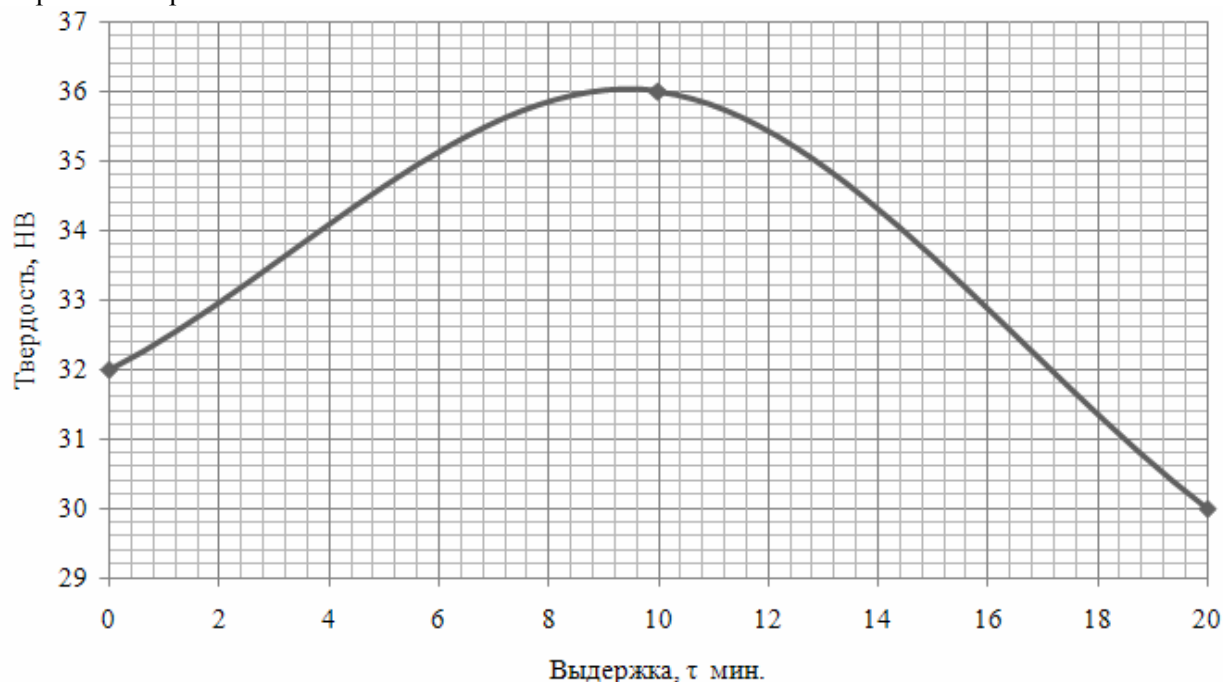


Рис.2 - Твердость образцов металла НВ в зависимости от времени выдержки расплава τ при максимальной базовой температуры нагрева (для каждой выдержки проведено 18 опытов, каждая точка среднее из 800 измерений)

Далее, при обработке кривых охлаждения расплава проанализированы данные по эффективной температуропроводности затвердевающего расплава. Известно, что истинные свойства расплавов определяются на малых объемах жидкого материала-капли, капилляры и т.п. Для большого объема жидкого металла с наличием в нем конвекции расплава истинные свойства расплава заменяются эффективными. Теория расчета эффективной температуропроводности расплава изложена в работах[4,7].

В работах Я.И. Френкеля [8] развита теория предпереходных процессов. Например, при плавлении твердого тела еще до достижения температуры ликвидуса в веществе появляются капельки жидкости ("кванты" плавления). С повышением температуры "кванты" увеличиваются в объеме за счет присоединения к ним новых атомов. При этом вблизи температуры плавления возникают аномалии свойств, -скачки теплоемкости, теплопроводности, плотности и т.д.

В нашей работе проанализированы все кривые охлаждения расплава в интервале температур от заливки его в форму вплоть до полного охлаждения затвердевшей отливки и вычислили коэффициенты эффективной температуропроводности металла α . Средние значения величины α приведены на рис.3, из которого видно, что увеличение времени выдержки расплава приводит к уменьшению температуропроводности расплава. Впервые обнаружен следующий экспериментальный факт. Сразу после заливки расплава в форму коэффициент α имеет значение $(70-77) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$, затем он резко падает до $(3,5-4,5) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$, а после снова возрастает до $(16,8-17,2) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$. Увеличение значения α во втором периоде и соответственное уменьшение скорости охлаждения металла можно объяснить тем, что в тот период, очевидно в твердой фазе происходит затвердевание последних оставшихся капель жидкости с выделением теплоты.

Вычисления показали, что для времени выдержки расплава при максимальной температуре 0,10 и 20 мин. температура расплава по сравнению с ликвидусом (в кельвинах) снижается соответственно на 7,3%; 2,3% и 2,2%. Здесь наблюдается "эффект окончательного затвердевания последних капель жидкого металла" при температуре меньше солидуса. В работе [8] для олова по удельной теплоемкости предплавление наступает, по нашим вычислениям, на 2,5% меньше тем-

пературы ликвидус. В той же работе [8] по коэффициенту объемного расширения цинка эффект предплавления возникает меньше 0,7% температуры ликвидус.

Следовательно, в литературе [4 и др.] обсуждается только эффект предплавления, т.е. появления в твердом при температуре меньше ликвидус первых капелек жидкости. В нашей работе впервые обнаружен при температуре меньше солидуса «эффект окончательного затвердевания последних капелек жидкого металла».

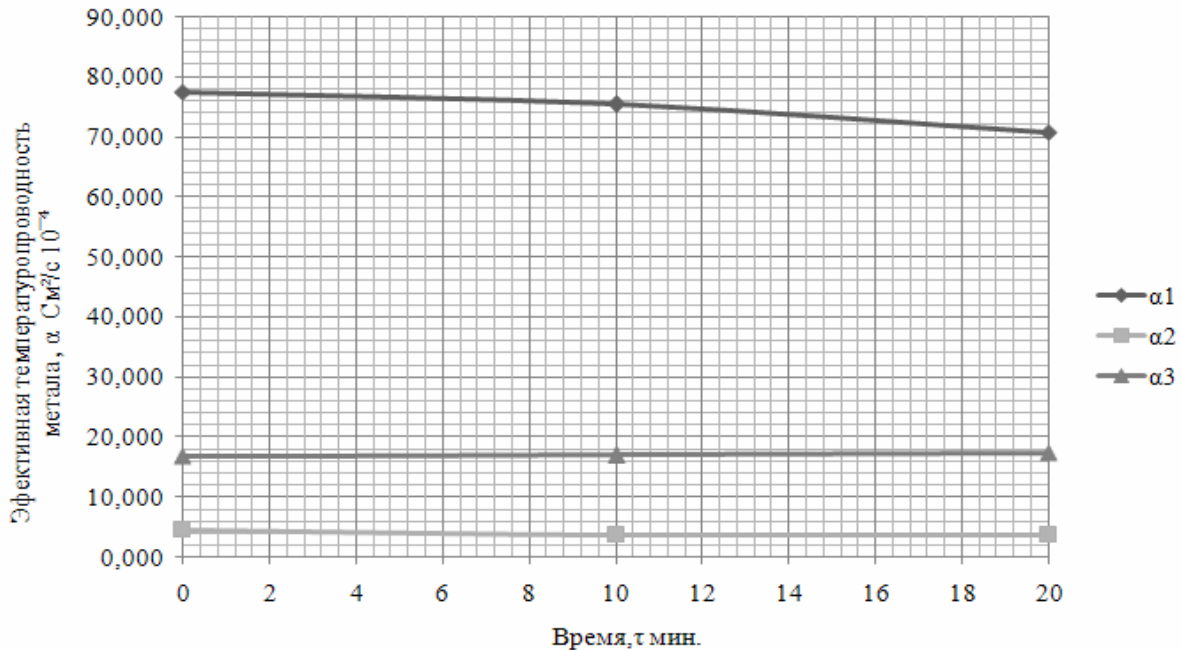


Рис. 3 - Средняя температуропроводность металла в зависимости от времени выдержки расплава τ при максимальной температуре его нагрева (каждая выдержка металла-18 опытов); α_1 -для повышенных температур, α_2 -для средних температур, α_3 - для пониженных температур

Выводы

1. В литературе мало опубликовано исследований по влиянию высокой температуры нагрева расплава и времени выдержки при ней на качество затвердевшего металла.
2. При изучении алюминиевого сплава марки АК9 нашли три максимума твердости затвердевшего металла при температурах нагрева жидкого 700, 800 и 900°C Из трех выдержек расплава при высокой температуре 0,10 и 20 мин., - максимум свойств наблюдался при 10 -минутной выдержке.
3. Кроме известного в литературе «эффекта предплавления» металла, т.е. появление в твердом ниже температуры линии ликвидуса капелек жидкости, впервые обнаружен ниже температуры солидуса «эффект окончательного затвердевания последних капелек жидкого металла».
4. Накопление экспериментальных данных по оптимальным температурам нагрева металлических расплавов и впервые обнаруженного «эффект окончательного затвердевания последних капелек жидкого металла» является весьма желательным для обобщающих выводов по обсуждаемому вопросу.

Список использованных источников:

1. Баум Б.А. Жидкая сталь / Б.А. Баум [и др.] - М.: Металлургия, 1991. - 158 с.
2. Никитин В.И. Наследственность и технология генной инженерии в литых сплавах / В.И. Никитин // Литейное производство. - 2002. - №10. - С. 8-10.
3. Навохатский И.А. Количественная оценка структурной микронеоднородности жидких металлов / И.А. Новохатский, В.И. Архаров // ДАН СССР - 1971. - Т.201. - №4. - С. 905-908.
4. Скребцов А.М. Жидкие металлы, их свойства и строение / А.М. Скребцов.- Мариуполь: ПГТУ, 2010. - 252 с.
5. Таран Ю.Н. Влияние термоскоростной обработки жидкого сплава АЛ2 на свойство отливок/ Ю.Н. Таран, И.А. Новохатский, В.И. Мазур. // Литейное производство. - 1985. - №7 - С. 8.
6. Баранов Е.М. Зависимость механических свойств алюминиевых сплавов от термоскоростной обработки жидкой фазы / Е.М. Баранов // Литейное производство. - 1986 - №11. - С. 8-9.

7. Скребцов А.М. Кривая охлаждения металлического расплава как источник информации о его температуропроводности и изменении строения охлаждения жидкости / А.М. Скребцов, А.О. Секачев // Процессы литья. - 1997. - №1. - С. 3-13.
8. Есин О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов ч. II / О.А.Есин, П.В. Гельд. - Свердловск – М.: Металлургия, 1954. - 606 с.

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

Статья поступила 28.03.2011

УДК 621.745.435:62-932.2

Троцан А. И.¹, Каверинский В. В.², Бродецкий И. Л.³, Карликова Я.П.⁴

МОДИФИЦИРОВАНИЕ РАСПЛАВА ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ С УЧЕТОМ ИХ РАЗБРОСА ПО РАЗМЕРАМ

Построена конечноразностная математическая модель растворения частиц модификаторов с учетом их разброса по размерам в условиях охлаждения с переменной скоростью. Определены исходные величины вводимых дисперсных частиц, их общая масса и температура расплава, необходимые для эффективного модифицирования.

Ключевые слова: *растворение, модифицирование, дисперсные порошки, расплав, кристаллизация, конечноразностное моделирование.*

Троцан А. І., Каверинський В. В., Бродецький І. Л., Карлікова Я.П. Модифікування розплаву дисперсними частками з урахуванням їх розбігу за розмірами. Побудована скінченорізносна математична модель розчинення твердих часток модифікаторів, яка враховує вплив їх розбігу за розмірами в умовах охолодження з перемінною швидкістю. Визначені початкові величини дисперсних часток, загальна маса і температура розплаву при їх вводиті, необхідні для забезпечення найбільш ефективного модифікування.

Ключові слова: *розчинення, модифікування, дисперсні порошки, розплав, кристалізація, скінченорізносне моделювання.*

A. I. Trotsan, V. V. Kaverinskiy, I. L. Brodeckyy, J.P. Karlikova. Melt modifying by the dispersible particles considering their stragglng in the sizes. The finite differences mathematical model of dissolution of solid particles in fluent cooled melt, subject to influence of a scatter of their sizes on process of dissolution is constructed. Initial sizes of dispersible parts, their overall mass and melt temperature during their input, necessary for the most effective modification are determined.

Keywords: *dissolution, modifying, disperse powders, melt, crystallization, method of finite differences.*

Постановка проблемы. Для улучшения структурных характеристик литого металла традиционно используются тугоплавкие, малорастворимые соединения (модификаторы второго рода), вводимые в расплав для получения мелкозернистой структуры [1, 2]. При этом одним из эффективных, но в то же время сложным и дорогостоящим способом модифицирования является ввод в железоуглеродистые расплавы ультрадисперсных порошков (УДП), частицы которых соизмеримы с размерами центров кристаллизации. В то же время технологии производства, хранения и ввода УДП сложны и затратны [3, 4]. Поэтому представляется целесообразным определение технологических параметров введения в расплав более крупных частиц, способных раство-

¹ д-р техн. наук, зав. кафедрой, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

² вед. инженер, Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев

³ канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, Институт проблем материаловедения НАН Украины, г. Киев

⁴ канд. техн. наук, ассистент, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь