



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-53-55>
УДК 621.74: 669.714

Поступила 21.12.2020
Received 21.12.2020

МЕТОДИКА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАКРОПРОЦЕССОВ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК НА ПРОЗРАЧНЫХ МОДЕЛЯХ И ЖИДКОСТЯХ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

А. В. СТЕЦЕНКО, МОУВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь, пр. Мира, 43

Разработана методика физического моделирования макропроцессов затвердевания отливок на прозрачных моделях и жидкостях. Модельными жидкостями может быть вода с различным содержанием солей. Для прозрачных моделей можно использовать стеклянные бутылки. Необходима теплоизоляция верхней части модели. Разработанная методика позволяет исследовать влияние растворенных газов на микроструктуру отливок. Показано, что газы, растворенные в жидкостях, оказывают непосредственное влияние на процесс затвердевания и его кинетику. Показано, что горячая вода, содержащая меньше растворенного воздуха, чем холодная, затвердевает в морозильной камере быстрее холодной воды.

Ключевые слова. Физическое моделирование, затвердевание отливок, модельная жидкость, прозрачная модель, растворенные газы.

Для цитирования. Марукович, Е. И. Методика физического моделирования макропроцессов затвердевания отливок на прозрачных моделях и жидкостях / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко, А. В. Стеценко // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 53–55. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-53-55>.

METHOD OF PHYSICAL SIMULATION OF MACRO PROCESSES OF SOLIDIFICATION OF CASTINGS ON TRANSPARENT MODELS AND LIQUIDS

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev, Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str. E-mail: stetsenko.52@bk.ru

A. V. STETSENKO, Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus, 43, Mira ave.

The technique of physical modeling of macro processes of solidification of castings on transparent models and liquids has been developed. The model liquids may be water with different salt contents. Glass bottles can be used for transparent models. Thermal insulation of the top of the model is required. The developed technique allows to investigate the effect of dissolved gases on the microstructure of castings. It has been shown that gases dissolved in liquids have a direct effect on the solidification process and its kinetics. It has been shown that hot water containing less dissolved air than cold water solidifies in the freezer faster than cold water.

Keywords. Physical modeling, solidification of castings, model liquid, transparent model, dissolved gases.

For citation. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu., Stetsenko A. V. Method of physical simulation of macro processes of solidification of castings on transparent models and liquids. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no.1, pp. 53–55. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-53-55>

От макропроцессов затвердевания во многом зависят свойства и качество отливок. Но металлическая жидкость не обладает прозрачностью. Поэтому определение механизмов формирования макроструктуры отливок является довольно сложной задачей. Она существенно упрощается, если использовать физическое моделирование на прозрачных моделях и жидкостях.

В качестве модельных жидкостей может быть выбрана вода с различным содержанием солей. В воде, как и в металлических жидкостях, хорошо растворяются газы, которые выделяются в процессе затвердевания. Это дает возможность определить механизм газовой выделенности и его влияние на макроструктуру отливок.

В качестве прозрачных моделей можно использовать стеклянные бутылки. Они должны закрываться пробками, чтобы предотвратить газонасыщение модельных жидкостей в процессе их затвердевания.

Известно, что отливки в основном затвердевают снизу вверх и от наружной поверхности к центральной оси. Чтобы обеспечить подобный режим охлаждения модельной жидкости, необходима теплоизоляция верхней части модели (рис. 1). Для охлаждения модельной жидкости могут использоваться морозильные камеры с различной интенсивностью заморозки.

Основными параметрами макропроцессов затвердевания модельной жидкости являются: D – диаметр бутылки; h – высота уровня модельной жидкости в бутылке при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; Δh – увеличение уровня модельной жидкости после ее затвердевания; d – средний диаметр столба осевой газовой пористости; τ – время затвердевания модельной жидкости; t – температура воздуха в морозильной камере.

Рассмотрим пример применения методики физического моделирования макропроцессов затвердевания отливки на прозрачных модели и жидкости. В качестве прозрачной модели выбрана бутылка $D = 57\text{ мм}$. Модельными жидкостями служили дистиллированная и водопроводная вода. Высота уровня воды $h = 107\text{ мм}$. Морозильная камера имела $t = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлено, что наименьшие значения $\Delta h = 4\text{ мм}$ и $d = 18\text{ мм}$ были у дистиллированной воды после ее кипячения в течение 20 мин и последующем охлаждении в закрытой бутылке до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Наибольшие значения $\Delta h = 17\text{ мм}$ и $d = 40\text{ мм}$ имела водопроводная вода, предварительно нагретая до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).



Рис. 1. Общий вид модели с теплоизолированной верхней частью



Рис. 2. Затвердевшая дистиллированная вода, предварительно прокипяченная в течение 20 мин и охлажденная до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$



Рис. 3. Затвердевшая водопроводная вода, предварительно нагретая до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Поскольку объем центрального столба газосодержащей пористости затвердевшей воды при равном значении h пропорционален d^2 , то концентрация растворенного воздуха также будет пропорциональна d^2 . Тогда из полученных экспериментальных данных следует, что чем выше концентрация растворенного в воде воздуха, тем большее расширение испытывает вода при затвердевании. Это можно объяснить тем, что выделяющийся воздух оказывает давление на окружающую среду, заставляя ее расширяться. Это одна из основных причин расширения воды при ее замерзании. Если не теплоизолировать верхнюю часть бутылки, то вода на мениске относительно быстро затвердевает. Это препятствует расширению льда вверх. В этом случае он расширяется в основном от центра к периферии, что приводит к трещинам и разрушению бутылки. Если теплоизолировать ее верхнюю часть, то лед в основном беспрепятственно расширяется вверх. В этом случае трещины не образуются, а бутылка остается невредимой.

Установлено, что чем больше концентрация растворенного в воде воздуха, тем медленнее она затвердевает. Так, нагретая до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ дистиллированная вода замерзает на 30% быстрее, чем такая же вода при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Получается, что воздух, выделяющийся при затвердевании воды, замедляет этот процесс и оказывает непосредственное влияние на его кинетику. Феномен горячей воды, замерзающей быстрее холодной, называется «эффектом Мпембы» [1, 2].

Известно, что модифицированные слитки затвердевают быстрее, чем немодифицированные [3]. В.Е. Неймарк объясняет это следующим образом: «Кроме того, происходящая под влиянием модификаторов дегазация расплава устраняет выделение на фронте кристаллизации газовых пузырьков,

тормозящих затвердевание слитка» [3]. Кроме того, установлено, что выделяющиеся при затвердевании расплавов пузырьки газа оказывают непосредственное влияние на микроструктуру отливок [4, 5]. Газы, выделяющиеся на дендритных кристаллах фаз, замедляют скорость их роста и разветвления. Это способствует получению отливок с немодифицированной микроструктурой.

Таким образом, предложенная методика физического моделирования макропроцессов затвердевания отливок на прозрачных моделях и жидкостях позволяет исследовать влияние растворенных газов на микроструктуру отливок. Растворенные в жидкостях газы оказывают непосредственное влияние на процесс затвердевания и его кинетику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мремба Е. В., Osborne D. G. Cool? // Physics Education – Institute of Physics. 1969. Vol. 4, №. 3. Pp.172–175.
2. Kell G. S. The Freezing of Hot and Cold Water // American Journal of Physics – AIP Scatation. 1969. Vol. 37. №. 5. Pp. 564–565.
3. Неймарк В. Е. Модифицированный стальной слиток. М.: Metallurgia, 1977. 200 с.
4. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Модифицирование сплавов. Минск: Беларуская навука, 2009. 192 с.
5. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Влияние газов, выделяющихся при затвердевании отливок на микроструктуру сплавов // Литье и металлургия. 2020. № 2. С. 12–14.

REFERENCES

1. Mremba E. V., Osborne D. G. Cool? Physics Education – Institute of Physics. 1969, vol. 4, no. 3, pp. 172–175.
2. Kell G. S. The Freezing of Hot and Cold Water. American Journal of Physics – AIP Scatation. 1969, vol. 37. no. 5, pp. 564–565.
3. Neimark V. E. *Modificirovannyj stal'noj slitok* [Modified steel ingot]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 200 p.
4. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. *Modificirovanie splavov* [Alloy modification]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 192 p.
5. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Vliyanie gazov, vydelyayushchihya pri zatverdevanii otlivok na mikrostrukturu splavov [Effect of gases released during solidification of castings on microstructure of alloys]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 2, pp. 12–14.

