

УДК.621.74.011:669.14.252.2

Горн Э. П. (асп., каф. ФХЛСиП), Голод В.М., к.т.н., проф.

АНАЛИЗ ОБЪЕМНОЙ УСАДКИ СПЛАВОВ ПЕРИТЕКТИЧЕСКОГО ТИПА СИСТЕМЫ Fe-C В ПЕРИОД ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

В литейном производстве остро стоит проблема получения качественной отливки, имеющей минимальное количество дефектов. При этом образование наибольшего числа дефектов (усадочных раковин, усадочной пористости, горячих трещин и т. д.) в стальных отливках это есть результат усадочных процессов, протекающих при затвердевании. Наличие данной проблемы требует углубленного изучения и понимания характера процесса усадки в зависимости от различных факторов, влияющих на нее, а также нахождения современных и эффективных путей ее решения, с помощью методов компьютерного моделирования, на которых основывается САПР литейной технологии.

Целью работы было исследование объемной усадки (ε_{V3}) сплавов системы Fe-C в результате фазовых переходов для δ - фазы (ε_V^δ), γ -фазы (ε_V^γ), твердофазного превращения $\delta \rightarrow \gamma$ ($\varepsilon_V^{\delta \rightarrow \gamma}$) и перитектического превращения (ε_V^p) при равновесной кристаллизации. Для этого находили изменение удельного объема сплава в зависимости от температуры по вычисленному количеству жидкой и твердой фазы соответствующих структурных составляющих и изменениям плотности жидкой и твердых фаз по соотношению:

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V_0} = 1 - \rho_0 \sum_i \frac{m_i}{\rho_i} = 1 - \rho_0 \sum_i m_i \nu_i, \quad (1)$$

где m_i - количество i -ой фазы; ρ_i - плотность i -ой фазы; ρ_0 - плотность жидкого сплава при заливке; $\nu_i = 1/\rho_i$ - удельный объем i -ой фазы. При этом принимали $\rho_0 = 6975 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ для всех исследованных сплавов при перегреве на 100 К выше ликвидуса, поскольку в пределах изменения содержания углерода до 0,6 % плотность изменяется незначительно.

Количество i -ой фазы находили на основе термодинамического моделирования процессов, протекающих при затвердевании отливки из сплава для перитектической области равновесной системы Fe-C [1], а плотность i -ой фазы определяли как функцию температуры [2].

По результатам вычисления провен анализ температурной зависимости объемной усадки (ε_{V3}) сплавов при затвердевании, который свидетельствует об определяющем влиянии характера и интенсивности развития фазовых превращений на общую величину объемной усадки и ее распределение по этапам в зависимости от положения сплавов на диаграмме состояния. (см. рис.1).

Полная усадка при затвердевании ε_{V3} и слагающие ее этапы

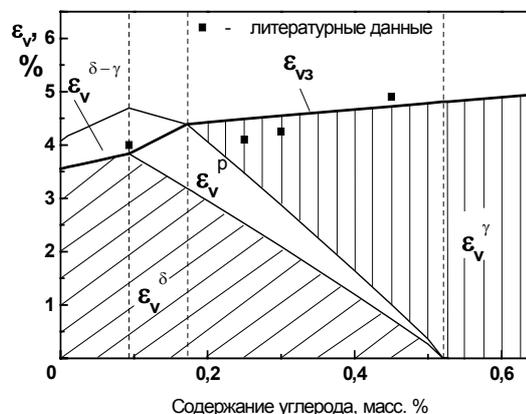


Рис. 1. Изменение объемной усадки при затвердевании сплавов Fe-C в зависимости от содержания углерода

($\varepsilon_V^\delta, \varepsilon_V^p, \varepsilon_V^\gamma$) при изменении содержания углерода изменяются в соответствии с объемной долей соответствующих фазовых превращений и в совокупности дают увеличение с 3,5 % для чистого железа до 5 % при 0,65 % С. Характер изменения объемной усадки находится в закономерном согласии с характером изменения теплоты кристаллизации в зависимости от содержания углерода, поскольку в обоих случаях определяющую роль играет соотношение этапов фазовых превращений при затвердевании.

По современным литературным данным [3, 4, 5] величина усадки сплавов с содержанием углерода от 0,2 до 0,55 % колеблется в интервале от 4,26 до 4,9%, что хорошо согласуется с результатами расчетов. При этом стоит отметить, что для сплавов с содержанием углерода менее 0,17 %, претерпевающих твердофазное превращение, заметную роль играет усадка твердофазного превращения $\varepsilon_V^{\delta \rightarrow \gamma}$. В литературе одной из причин образования горячих трещин называют усадку при твердофазном превращении, следовательно прогнозирование ее величины имеет важное значение.

Сопоставление результатов работы с экспериментальными данными по различным публикациям указывает на хорошее соответствие расчетных и опытных данных (см. рис. 1), в связи с чем можно заключить, что примененная методика анализа температурных зависимостей и объемных изменений затвердевающего металла может быть эффективно использована для многокомпонентных промышленных сталей и позволяет получить важную количественную информацию для моделирования литейных процессов при разработке технологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Горн Э. П. и др. Анализ теплофизических процессов при затвердевании стальных отливок на основе термодинамического расчета выделения теплоты кристаллизации // Сб. тез. X всероссийской научно-технич. конф. "Теплофизика технологических процессов", г. Рыбинск, РГАТА, 2000, 86 с.
2. Pottore N. S., Garcia C.I.. Interrupted and isothermal solidification studies of low and medium carbon steel. - Metallurgical Transactions, Vol. 22, № 8, 1991, pp. 1871-1880.
3. Василевский П. Ф.. Технология стального литья. - М.: Машиностроение, 1974, 408 с.
4. Станкус С. В. Изменение плотности элементов при плавлении. Методы и экспериментальные данные. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1991, 78 с.
5. Грузных И. В., Оболенцев Ф. Д. Надежность и технологичность в производстве стальных отливок. - СПб.: Политехника, 1992, 272 с.