

УДК 669.131.622:669.74

В.Е. Хрычиков, Ю.С. Пройдак, Е.В. Меняйло

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

**ВЛИЯНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ПРОЦЕСС
ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВКИ В КОМБИНИРОВАННОЙ КОКИЛЬНО-ПЕСЧАНОЙ
ФОРМЕ**

Процесс затвердевания отливок в комбинированных литейных формах рассчитывают, как правило, с помощью известных программ компьютерного моделирования ProCast, AFSolid (SolidCast), Magma, Simulor (Pamcast), LVMFlow, Полигон и др. Их функциональные возможности определяются типом генерируемой сетки - способом разбиения геометрической модели на элементарные объемы, размерами ячеек, исходными теплофизическими коэффициентами сплава и формы, которые должны зависеть от температуры. Точность расчета также зависит от кинетики выделения скрытой теплоты кристаллизации в интервале температур ликвидус-солидус. Базы данных, которые прилагаются к моделям, как правило, принимают равномерное выделение скрытой теплоты кристаллизации. В реальных процессах кристаллизации железо-углеродистых сплавов даже при использовании правила рычага видно, что в отливках из углеродистых сталей большая часть твердой фазы выделяется вблизи температуры ликвидус, а в чугунах, наоборот – при температуре солидус.

Поэтому целью работы является изучение влияния скрытой теплоты кристаллизации в интервале T_L - T_S на затвердевание чугунных отливок в комбинированных кокильно-песчаных формах.

Моделировали процесс затвердевания прокатного вала из доэвтектического чугуна, бочка которого охлаждается в кокиле, а верхняя и нижняя шейки – в песчаной форме. Модель основана на сопряженном численном решении двумерного нестационарного уравнения теплопроводности в областях жидкого и затвердевающего металла. Процесс затвердевания описывали в рамках квазиравновесной теории двухфазной зоны. Скрытую теплоту кристаллизации учитывали эффективным коэффициентом теплоемкости. Для повышения точности оценки влияния кинетики выделения скрытой теплоты кристаллизации, долю выделившейся твердой фазы устанавливали согласно результатам замеров на высокотемпературном дифференци-

альном термическом анализаторе (ВДТА). Например, для валков из ВЧ расчетные кривые охлаждения соответствуют экспериментальным (исследовали затвердевание прокатного валка массой 2,2 т) если при вблизи T_L выделяется $\approx 20\%$ твердой фазы, вблизи T_S - 70%, а остальные 10% внутри интервала температур T_L - T_S . Кроме того, введена поправка, учитывающая выделение теплоты фазового перехода при эвтектичном превращении. Ее величину и температурный интервал выделения также определяли с учетом результатов, полученных на ВДТА и экспериментальных кривых охлаждения. Изменение толщины воздушного зазора между отливкой и кокилем рассчитывали в зависимости от толщины затвердевшего слоя металла.

Моделировали изменение температуры заливки чугуна при 1270, 1320, 1370, 1420 °С и скрытой теплоты кристаллизации в различных частях отливки.

Установлено, что в микрообъемах расплава на границе затвердевания в момент перехода из жидкого в твердое состояние выделение скрытой теплоты кристаллизации создает "тепловой экран" и замедляет теплоотвод из осевой зоны бочки в кокиль. Так, отношение выделившейся скрытой теплоты кристаллизации (300 кДж/кг) к теплоемкости чугуна (0,837 кДж/кгК) дает возможное повышение температуры металла на 358 °С. На основании этих расчетов многие исследователи утверждают, что в микрообъемах на конце растущего дендрита имеет место аномальное повышение температуры. Однако на экспериментальных кривых охлаждения отливок не фиксируется повышение температуры при T_L или T_S . Поэтому можно считать, что избыточное тепло отводится в литейную форму и в затвердевший слой металла, но не повышает температуру металла выше T_L или T_S . Образование разветвленных дендритов, как фрактальной структуры, обеспечивает максимально повышенный сток тепла от фронта затвердевания в литейную форму. Следует учитывать, что увеличение количества выделившейся скрытой теплоты кристаллизации приведет к остановке затвердевания до момента полного отвода тепла из микрообъемов расплава на фронте затвердевания.

Таким образом, результаты исследования позволили оценить влияния скрытой теплоты кристаллизации и температуры заливки на затвердевание чугунных отливок.