

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

И. В. Рафальский, А. В. Арабей

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Белоруссия

Непрерывно повышающийся уровень требований, предъявляемых к качеству отливок, и сложность технологических процессов литья обусловили широкое применение компьютерных систем проектирования и моделирования литейных процессов (CAD/CAM/CAE). Использование таких систем обеспечивает разработку оптимальной и наиболее экономичной технологии изготовления отливок. К указанным системам относятся программы для численного моделирования физических процессов, происходящих в отливках (ProCAST, ПОЛИГОН, LVMFlow и др.)

Использование программных комплексов CAD/CAM/CAE в производстве дает возможность минимизировать затраты на стадии подготовки технологического процесса за счет построения возможных технологических решений на компьютере. Однако трудности учета геометрии отливки и определения тепло-физических свойств многокомпонентных сплавов во многих случаях приводят к усложнению процесса моделирования и снижению адекватности получаемых результатов.

В процесс построения компьютерных моделей отливок этап задания свойств материалов, начальных и граничных условий наиболее важен для получения адекватных моделей. На практике программы численного компьютерного моделирования, как правило, используют параметры фазовых превращений сплавов (температуры фазовых превращений, функции выделения твердой фазы в интервале кристаллизации сплава, концентрации твердой и жидкой фаз и др.) из баз данных, встроенных в программные комплексы. При этом эти свойства, как правило, определяются на основе равновесных диаграмм состояния. Однако в реальных производственных условиях затвердевание сплава в литейной форме представляет собой процесс, протекающий при неравновесных условиях и на который значительное влияние оказывают все факторы технологического процесса получения отливки.

Следует также отметить, что методы расчета параметров фазовых превращений

по равновесным диаграммам состояния обладает рядом недостатков:

1. возможность расчета параметров фазовых превращений только для сплавов с известными диаграммами состояния;

2. возможность расчета твердой фазы только для условий дендритной кристаллизации при очень низких скоростях затвердевания и, как следствие, неадекватность моделей затвердевания для неравновесных условий затвердевания;

3. невозможность расчета объемной доли твердой фазы в следующих случаях:

- если коэффициент распределения (k) зависит от температуры или состава;
- для сплавов эвтектических составов;
- для интерметаллидных фаз;
- для многокомпонентных сплавов.

В связи с этим, результаты компьютерного моделирования литейных процессов, полученные с использованием параметров фазовых превращений сплавов на основе равновесных диаграмм состояния, часто не отражают реальный характер затвердевания сплава в литейной форме, и в таких случаях требуется выполнение корректировки результатов моделирования – сравнение полученных результатов моделирования с данными реального технологического процесса, выполнение так называемой «тарировки» исходных данных и проведение повторных расчетов.

Таким образом, процессы формирования структуры отливок в условиях неравновесного затвердевания, модифицирование и рафинирование сплавов, использование вторичных материалов для производства отливок, большое разнообразие составов литейных сплавов и факторов технологического процесса получения отливок приводят к невозможности применения в программах численного моделирования термодинамических калькуляторов, основанных на использовании равновесных диаграмм состояния. Единственно возможным методом получения достоверных значений выделившейся твердой фазы и теплофизических свойств сплавов для

моделирования литейных процессов остается получение экспериментальных данных методами термометрии. В настоящее время для этих целей применяются различные термометрические методы, однако наиболее простым и относительно легко реализуемым в производственных условиях является компьютерный термический анализ (КТА) по кривой охлаждения расплава.

На сегодняшний день в методах КТА основными способами идентификации фазовых превращений является использование производных первого и второго порядков кривой охлаждения расплава.

Однако в условиях реального производства затруднительно получить идеальную кривую охлаждения исследуемого сплава, так как для

проведения термического анализа необходимо проводить отбор пробы расплава из печи с дальнейшей его заливкой и измерением функции температуры тест-пробы от времени.

Таким образом, целью настоящей работы являлась разработка новых алгоритмов идентификации фазовых превращений при неравновесной кристаллизации с использованием данных КТА, полученных после заливки расплава в стандартные тест-стаканчики.

В общем виде алгоритм идентификации фазовых превращений при неравновесной кристаллизации литейных сплавов на основе анализа уравнения теплового баланса методом Ньютона можно представить следующим образом:



где $T_{кр}$ и $t_{кр}$ – температура и время на границе начала кристаллизации,
 $T_{те}$ и $t_{те}$ – температура и время на границе конца кристаллизации,
 T_c – температура окружающей среды,
 t – время,
 T_0 – температура в условно начальный момент времени проведения измерений.

Таким образом, в результате проведенного анализа компьютерных программ численного моделирования литейных процессов установлено, что использование данных о

параметрах фазовых превращений сплавов, полученных на основании равновесных диаграмм состояния, имеет существенные недостатки. Наиболее перспективным и относительно легко реализуемым в производственных условиях является компьютерный термический анализ по кривой охлаждения расплава. Реализация разработанного алгоритма идентификации фазовых превращений обеспечивает оперативное получение данных о температурах начала и конца затвердевания сплава с использованием стандартных тест-стаканчиков для КТА.