

УДК 621.746.6:669.15-196.53:004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОТЛИВКИ
ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА В ФОРМЕ
ИЗ ХОЛОДНОТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАЛЬНОЙ ВСТАВКИ

А. М. БРАНОВИЦКИЙ, Ю. А. ЛЕБЕДИНСКИЙ, П. Ю. ДУВАЛОВ
Институт технологии металлов НАН Беларуси
Могилев, Беларусь

При литье деталей дробильно-размольного оборудования был проведен эксперимент по измерению температуры. Хромистый чугун заливался в течение 10...12 с в форму из холоднотвердеющей смеси с зафутерованной закладной деталью в виде стержня из стали ст 45. Получены зависимости температуры от времени в двух точках: вблизи поверхности торца стального стержня в контакте с расплавом и на глубине 1 мм в стали под его поверхностью.

В начальные моменты времени, во время заливки и несколько секунд после нее имеет место вынужденная конвекция расплава, при этом форма из холоднотвердеющей смеси мало влияет на теплообмен вблизи торца стального стержня, где измеряется температура. По этой причине имеет смысл тепловая задача без учёта формы. Для учета влияния конвекции в расплаве представляет интерес простой способ, проверенный для случая свободной конвекции [1, 2]. Он заключается в использовании коэффициента эффективной теплопроводности в расплаве $\lambda_{эфф} = k \lambda$. Здесь λ – коэффициент теплопроводности в неподвижном расплаве, $k > 1$ – эмпирический коэффициент, подбираемый при адаптации моделей с использованием результатов измерения температуры. Данная тепловая задача решалась методом конечных разностей на трех сопряженных областях.

Конвекция, как известно, приводит к увеличению теплопередачи от расплава к фронту кристаллизации, что приводит к выравниванию температуры по сечению жидкого ядра и ускорению затвердевания слитка в целом, кроме того, возможно изменение условий теплоотдачи на поверхности слитка.

В данном случае предстояло выяснить влияние конвекции на температуру расплава путем сопоставления численных расчётов с экспериментальными зависимостями температуры от времени в двух точках. Ориентируясь по ранее известным данным [1, 2], выбрали следующие значения для эмпирического коэффициента k , условно характеризующие уровень влияния конвекции: $k = 13$ – сильная конвекция, $k = 7$ – средняя конвекция, $k = 1$ отсутствие конвекции. Вследствие инерции движения расплава, полученной при заливке, имеет место вынужденная конвекция, которая сильнее способствует теплопереносу, чем свободная конвекция, поэтому выбранные значения $k = 7$ и $k = 13$ выше обычно используемых. Эмпирический коэффициент k действует при температуре от ликвидуса и выше. Внутри выбранной двухфазной зоны (1240 ± 20) °С k линейно интерполируется до 1 на солидусе.

По результатам проведенных расчетов тепловой задачи для различных уровней конвекции были собраны кривые (рис. 1) в контрольных точках T1

(на поверхности торца стального стержня в контакте с расплавом) и T2 (на глубине 1 мм под поверхностью стального стержня).

На основе сравнения экспериментальных (кривые T1 э, T2 э) и расчётных данных установлено, что вблизи границы «сталь – чугун» имеется значительная конвекция расплава. Видно, что при сильной конвекции (кривые T1 $k = 13$, T2 $k = 13$) вблизи стали не образуется корки чугуна при заливке, расплав выше стержня охлаждается приблизительно равномерно. В случае средней конвекции (кривые T1 $k = 7$, T2 $k = 7$) вблизи стали образуется корка чугуна, которая при дальнейшей заливке плавится. Без конвекции (кривые T1 $k = 1$, T2 $k = 1$) вокруг стали почти сразу образуется корка, которая не плавится и может значительно уменьшать теплопоток из чугуна в сталь. T2-кривые носят монотонный характер, что объясняется нагревом стержня. В общем увеличение уровня конвекции k усиливает теплообмен, что приводит к некоторому сдвигу вверх T1- и T2-кривых, как показано стрелками на рис. 1.

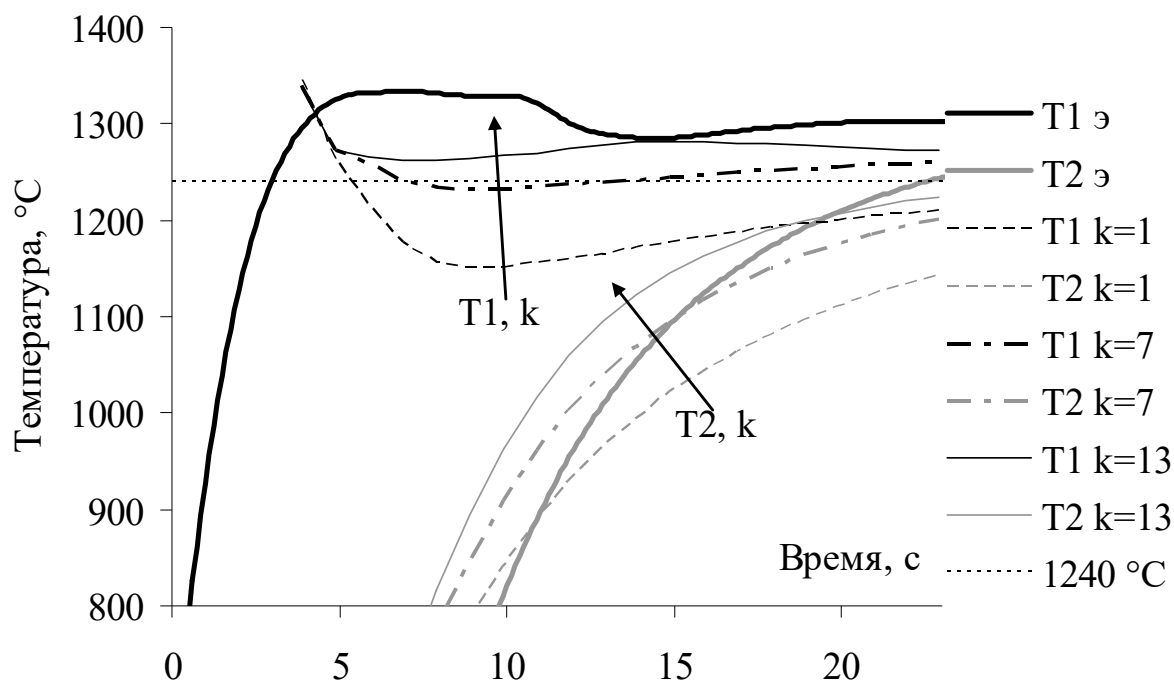


Рис. 1. Сравнение экспериментальных и расчётных температур в контрольных точках T1, T2 при разных уровнях конвекции k

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное и теоретическое изучение закономерностей затвердевания отливок из бинарных сплавов / В. А. Горяинов [и др.] // *Металлургическая теплотехника*. – 1974. – № 2. – С. 33–40.
2. Обоснование способа учета свободной конвекции при моделировании затвердевания слитков / З. К. Кабаков [и др.] // *Вестн. ЧГУ*. – 2009. – № 1. – С. 116–120.