

Микротвердость эвтектоида [$\delta+\gamma(\text{Mg}_4\text{Al}_3)$] и частиц выроджденной эвтектики, соответственно, в 1,5 и 2,4 раза была выше значений твердости матричного δ -твердого раствора. Из результатов, представленных в табл. 3, видно, что повышение температуры перегрева расплава приводило к увеличению значений микротвердости δ -твердого раствора. Следует отметить, что ТВО расплава при температуре 750-800 °С незначительно повышает микротвердость металла (на 2,25 %), тогда как ВТО при 900 °С увеличило микротвердость сплава существенно (на ~30 %). При последующем повышении температуры до 950 °С микротвердость матрицы снизилась более чем на 20 %.

Установлено, что проведенная термическая обработка снизила химическую неоднородность сплава, что обеспечивало стабильные физико-механические характеристики. С увеличением температуры ВТО расплава механические свойства образцов повышались. При этом предел прочности при ВТО до 900 °С повышался на ~30 %, а относительное удлинение - в ~2,5 раза по сравнению с исходным сплавом за счет получения равномерной мелкодисперсной структуры. ВТО до 950 °С снижало как прочностные, так и пластические свойства исследуемого сплава на 11,5 и 21,1 % по сравнению с результатами, полученными на образцах после ВТО при температуре 900 °С. Длительная прочность образцов несколько снижалась после ВТО при 900 °С.

Выводы

- Получены зависимости, описывающие влияние содержания углерода и азота в сплаве Мл-5 от ВТО расплава. Определено, что ВТО расплава снижает содержание углерода и азота в магниевом сплаве.
- Установлено, что максимальное измельчение макро- и микроструктуры металла обеспечивает ВТО расплава до 900 °С, дальнейшее повышение температуры перегрева приводит к огрублению структуры.
- С повышением температуры ВТО расплава до 900 °С уменьшается диаметр зерна, увеличивается удельная поверхность границ зерен, снижается количество включений, что обеспечивает повышение всего комплекса механических свойств сплава.

Список литературы

1. Богуслаев В. А., Муравченко Ф. М., Жеманюк П. Д. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. - Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2007. - Ч. 2. - 496 с.
2. Баум Б. А. Металлические жидкости – проблемы и гипотезы. - М.: Металлургия, 1979. - 120 с.
3. Термовременная обработка расплава: основы – возможности – пути реализации в авиационной промышленности / Р. Е. Шалин, Б. А. Баум, Г. В. Тягунов, Е. Б. Качанов // Приложение к журналу «Авиационная промышленность». - М.: Машиностроение, 1989. - № 2. - С. 2-3
4. Баум Б. А., Хасин Г. А., Тягунов Г. В. Жидкая сталь. - М.: Металлургия, 1984. - 208 с.

Поступила 07.07.2008

УДК 621.746.32:546.3

В. И. Курпас

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА ПРИ ЕГО ВЫДЕРЖКЕ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ*

На основании результатов вычислительного эксперимента проведен теоретический анализ изменения теплового состояния жидкого металла при его выдержке в сталеразливочном ковше.

На основі результатів обчислювального експерименту проведено теоретичний аналіз зміни теплового стану рідкого металу при його витримці в сталерозливальному ковші.

*В работе принимала участие Гликке Т. Н.

Получение и обработка расплавов

On the basis of results of calculable experiment the theoretical analysis of change of the thermal state of liquid metal at its self-control in a steel-pouring ladle is conducted.

Ключевые слова: теплоотвод, температурное поле, скорость нагрева, тепловые потери.

Для теплофизического прогнозирования теплового состояния жидкого металла в ковше использовали метод математического моделирования. При расчетах учитывали конструктивные особенности сталеразливочного ковша (геометрические параметры, схему футеровки) и внешние условия теплоотвода.

Распределение температур в рассматриваемой многосвязной области, учитывая осесимметричность задачи ($\partial T / \partial \varphi = 0$), описывали двумерным дифференциальным уравнением Фурье-Кирхгофа в цилиндрических координатах

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

с граничными условиями на внешних теплоотводящих поверхностях (обечайки, днища ковша, зеркала металла или крышки)

$$-\lambda \cdot \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{r_i} = \alpha \cdot (T - T_c) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_c^4), \quad (2)$$

где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·град); ε - степень черноты; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ - постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·град⁴); T - температура произвольной точки в объеме ковша в любой момент времени, град; T_c - температура внешней охлаждающей среды, град; n - нормаль к теплоотводящей поверхности; r_i - координата теплоотводящей границы; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·град); c_p - коэффициент теплоемкости, Вт/(кг·град); ρ - плотность, кг/м³; τ - время, с.

При этом предположили, что между областями в каждом исследуемом направлении теплоотвода имеется плотный контакт. Двумерную задачу нестационарной теплопроводности с учетом естественной конвекции жидкой стали решали по явной конечно-разностной схеме.

Таблица 1. Исходные параметры

Параметр	Значение параметра
Масса жидкой стали в ковше, т	350
Температура перед сливом из печи, °С:	
– стали и шлака	1640
– внутренней поверхности ковша и его крышки	500
– окружающей среды	-10
Продолжительность выдержки металла в ковше, мин	60
Максимальный внутренний диаметр футерованного ковша, мм	3800
Высота ковша, мм	6000
Толщина, мм:	
– обечайки ковша	25
– стенки ковша из шамота	65
– стенки ковша из динаса	200
– днища ковша из динаса	600
– слоя шлака на зеркале металла	240
– крышки с шамотной футеровкой	295
Высота наполнения ковша металлическим расплавом, мм	4600

Таблица 2. Теплофизические характеристики материалов [1]

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м · °С)	Теплоемкость, кДж/(кг · °С)
Динас	2040	$(0,8 + 6 \cdot 10^{-4} t) \cdot 1,16$	$(0,2 + 6 \cdot 10^{-5} t) \cdot 4,18$
Шамот	1800	$(0,72 + 5 \cdot 10^{-4} t) \cdot 1,16$	$(0,193 + 7,5 \cdot 10^{-5} t) \cdot 4,18$
Сталь	7000	26	0,8
Шлак печной	3000	0,93	$(0,175 + 7 \cdot 10^{-5} t) \cdot 4,18$
Воздух	0,27	0,0763	1,180

Исходные параметры и теплофизические характеристики исследуемых областей представлены в табл. 1 и 2.

При анализе результатов вычислительного эксперимента рассматривали изменение температурного поля в поперечных сечениях обечайки, шамотного и динасового слоев футеровки ковша, а также пристеночной области жидкого металла и центральной его части в условиях изоляции зеркала металла от окружающей среды слоем печного шлака и с дополнительным накрыванием ковша футерованной крышкой.

В системе ковш-металлический расплав можно выделить три характерные тепловые зоны: Д - донная, Ц - центральная; В - верхняя. Температурное поле в зонах Д и В формируется в результате теплоотвода в двух направлениях: вдоль радиуса в стенку ковша и через горизонтальные поверхности в его днище (зона Д), а также в покровный шлак или в теплоизолирующую крышку (зона В). В зоне Ц температурное поле определяется теплоотводом в стенку ковша. Там же имеется ядро, в котором температура металла остается неизменной в течение времени выдержки ковша.

Таким образом, наибольший интерес представляют зоны Д и В, где возможны максимальные потери тепла жидкого металла. Поэтому основное внимание при исследовании температурных полей уделено именно этим зонам.

На рис. 1-3 представлены расчетные кривые изменения температуры по поперечному сечению стенки, днища и теплоизолирующей крышки ковша в начале и конце его выдержки. Характер изменения температуры в стальном кожухе и в футеровке ковша и крышки объясняется преобладающим влиянием температуры окружающей среды и высокими теплоизолирующими свойствами футеровки, когда даже через 60 мин тепловая волна от жидкого металла не доходит до обечайки ковша. В процессе выдержки достаточно интенсивно нагревается слой футеровки из динасового кирпича, который непосредственно контактирует с жидким металлом. Скорость нагрева этого слоя возрастает до 4 град/мин. Средняя температура динасового слоя в зоне Д возрастает до 845 °С, в зоне Ц составляет 930 °С, а в зоне В (контакта со шлаком и воздушной прослойкой) – 880-900 °С.

С точки зрения оценки тепловых потерь металлического расплава при его выдержке

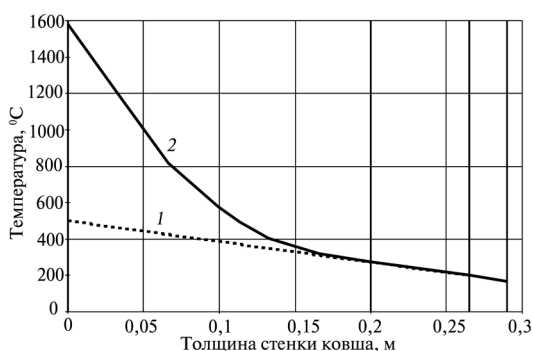


Рис. 1. Распределение температуры по толщине боковой стенки ковша: 1 – перед наполнением ковша металлом; 2 – после часовой выдержки металла в ковше

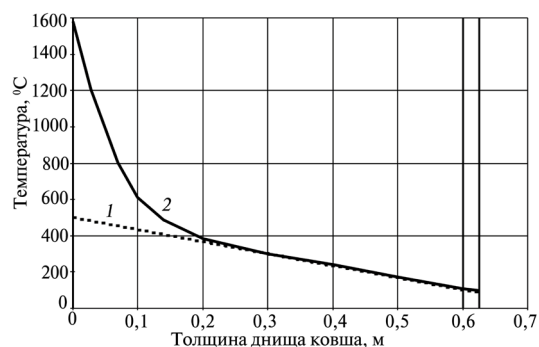


Рис. 2. Распределение температуры по толщине днища ковша: 1 – перед наполнением ковша металлом; 2 – после часовой выдержки металла в ковше

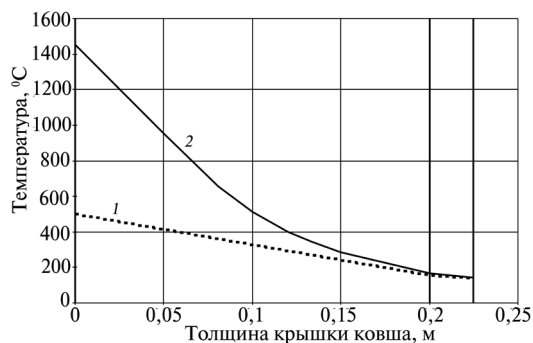


Рис. 3. Распределение температуры по толщине крышки ковша: 1 — перед наполнением ковша металлом; 2 — после часовой выдержки металла в ковше

до 90 мм. При использовании теплозащитной крышки характер распределения температуры и ее абсолютные значения по радиусу и высоте ванны жидкого металла практически не изменяются. В шлаковом же слое перепад температуры несколько ниже, и толщина корки в его центральной части не превышает 10 мм.

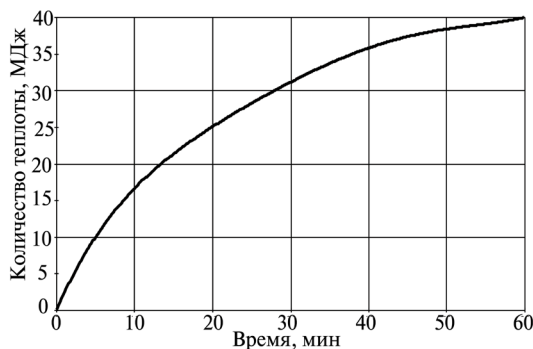


Рис. 4. Изменение тепловых потерь металла в процессе его выдержки в ковше

в сталеразливочном ковше наиболее важным является анализ теплового состояния непосредственно ванны жидкой стали. Расчеты показывают, что температура металла в пристеночной области к концу его выдержки снижается до 1580 °C, а шлакового слоя — до 1450 °C. Причем на свободной поверхности шлака образуется корка, толщина которой достигает 120 мм. Вблизи оси ковша эта величина не превышает 70 мм. Пристеночная область в жидком металле, где его температура падает ниже 1640 °C, к концу выдержки возрастает в поперечном сечении

По данным вычислительного эксперимента при исходном теплосодержании металлического расплава 460 МДж тепловые потери в процессе его часовой выдержки в ковше составили около 40 МДж (рис. 4). В результате серии проведенных расчетов установлено, что тепловое состояние жидкого металла под шлаком инвариантно температуре окружающей ковш среды и условиям утепления его свободной поверхности. Изменение температурного поля наблюдается только в слоях обечайки и футеровки ковша и крышки.

Список литературы

1. Арутюнов В. А., Миткалинный В. И., Старк С. Б. *Металлургическая теплотехника*. - М.: Металлургия, 1974. - Т. I. - 672 с.

Вниманию авторов!

С 2009 г. в соответствии с требованиями ВАКа все статьи, поступающие в редакции научных журналов, должны обязательно проходить рецензирование, иметь аннотации и ключевые слова на русском, украинском и английском языках. Объем статьи — не более 10 стр., рисунков — не более 5.

Статьи в редакции поступают как на бумажном, так и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов — формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.