

Эффективность мероприятий по снижению тепловых потерь жидкого металла.

Дуглас С. Уайт – технический консультант подразделения Elkem Carbon Division в г. Аштабула (Ashtabula), США.

В настоящей статье рассматриваются ряд преимуществ технологии производства высокопрочного чугуна посредством ковша с крышкой (TCL – Tundish Cover Ladle). Пониженная температура базового чугуна на выпуске в сочетании с рядом мер по снижению общих тепловых потерь позволяет получить существенную экономию модификатора ФСМг. При рассмотрении этого вопроса был выявлен целый ряд преимуществ, которые в некоторых случаях могут оказаться даже более значительными, чем экономия ФСМг. Как результат, описаны несколько способов сокращения потерь тепла жидкого металла, применение которых вполне доступно для большинства производителей чугунного литья.

В первой части статьи рассматриваются источники потерь тепла металла и способы минимизации этих потерь. Во второй части приведен анализ мероприятий, которые, помимо снижения энергозатрат, приводят к сокращению производственных затрат в целом и повышению качества выпускаемой продукции.

Тепловые потери через огнеупорную футеровку

Тепловые потери через огнеупорную футеровку рассчитываются следующим образом:

$$H = \frac{K \times (t_2 - t_1)}{L}$$

где	H – тепловой поток через единицу поверхности	Вт/м ²
	K – коэффициент теплопроводности	Вт/м К
	t ₂ – температура горячей поверхности	°С
	t ₁ – температура холодной поверхности	°С
	L – толщина слоя огнеупорного материала	м

Приведённая выше формула иллюстрирует интенсивность теплоотдачи жидкого металла через слой огнеупорного материала в зависимости от теплопроводности. Легко заметить, что величина потерь тепла может быть уменьшена вдвое за счет удвоения толщины огнеупорного слоя, т.е. путем удвоения величины L. Однако это не лучшее решение для тех предприятий, которые стремятся свести вес футеровки к минимуму. K – коэффициент теплопроводности применяемого огнеупорного материала.

Теплопроводность наиболее распространенных огнеупорных материалов

На рис. 1 приведен пример диаграммы¹, содержащей данные о теплопроводности различных видов огнеупоров.

Следует отметить, что ось величин теплопроводности – логарифмическая, т.е. теплопроводность Al₂O₃ при 2800°F (1538°C) в 10 раз выше теплопроводности теплоизоляционного кирпича при 2400°F (1316°C).

¹ Диаграмма приведена только в качестве примера. Подобные диаграммы на русском языке можно найти в отечественных справочниках по теплотехнике.

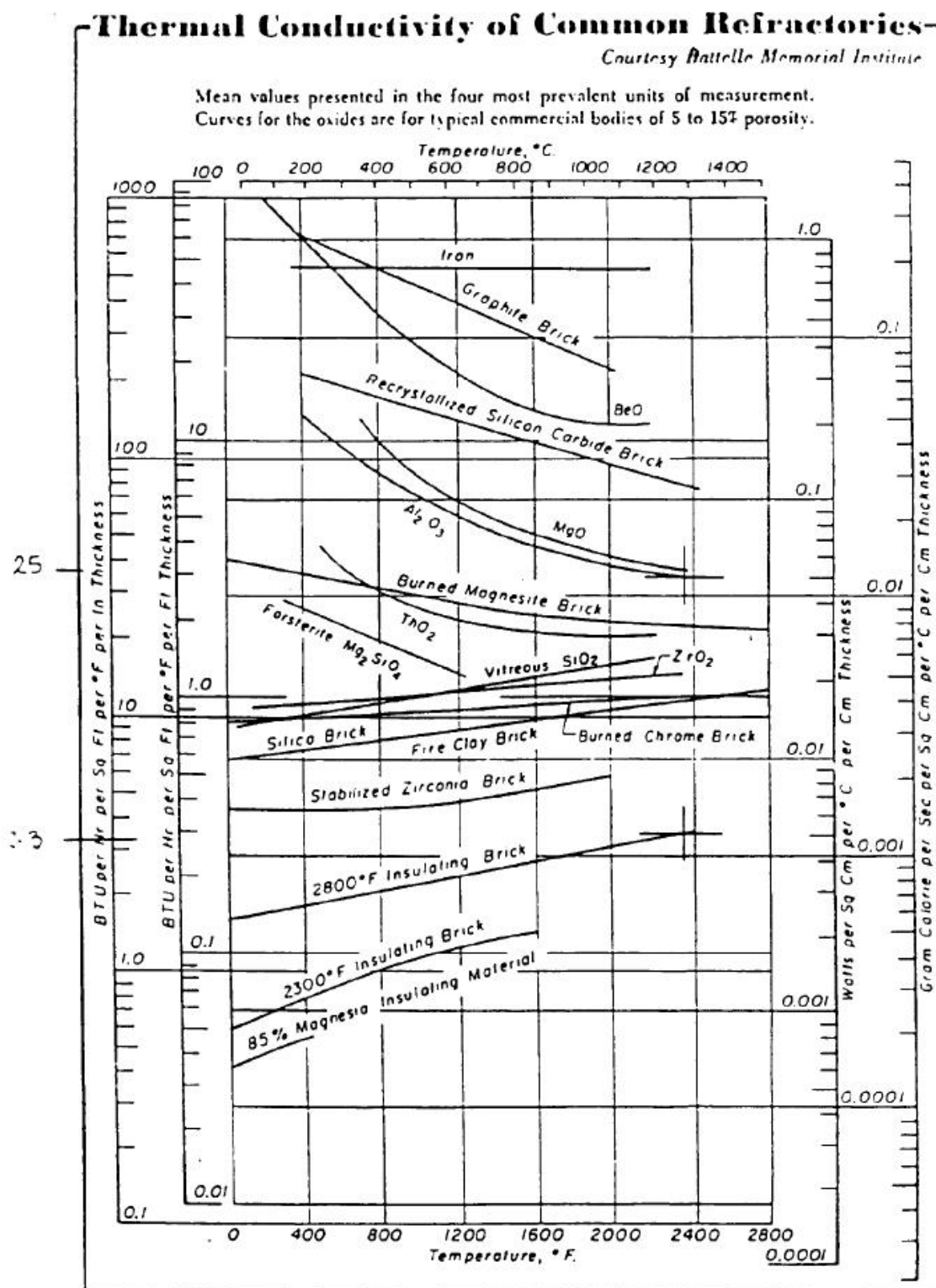


Рис. 1

Типичные значения теплопроводности для некоторых материалов

Материал	Температура, °C	Теплопроводность, (Вт/м К)
Al ₂ O ₃ SiO ₂ 43% Al ₂ O ₃	600 – 800	0,80 – 1,00
Al ₂ O ₃ SiO ₂ 84% Al ₂ O ₃	700 – 1000	1,20 – 1,25
Карбид кремния 90%	1000	1,30 – 1,40
Теплоизоляционный кирпич	200 – 700	0,30 – 1,40
Панель из керамического волокна	100 – 500	0,30 – 0,80
Сталь	50 – 250	0,04 – 1,06

Таблица 1

В таблице 1 приведены дополнительные данные о теплопроводности материалов. Обратите внимание, что теплопроводность теплоизоляционных панелей из керамического волокна ненамного ниже значений для теплоизоляционного кирпича. Очевидно, что различия в величине коэффициента К играют ключевую роль в снижении тепловых потерь.

Конструкция ковша (для расчетов)

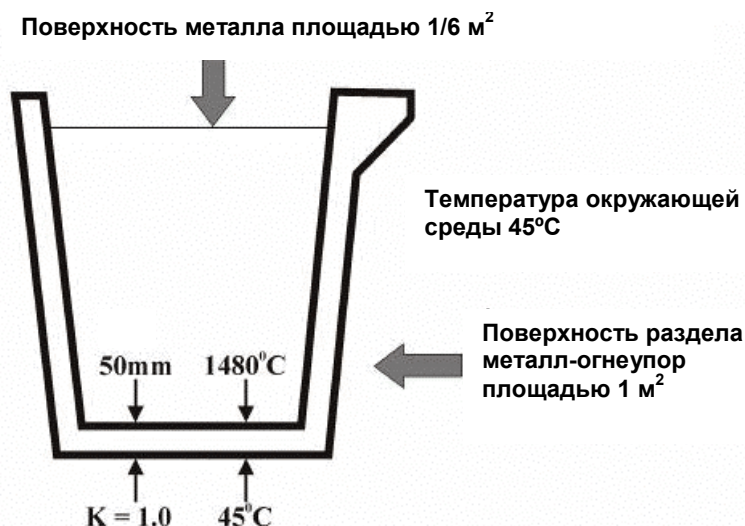


Рис. 2

На рис. 2 приведен пример расчета тепловых потерь через однослойную огнеупорную футеровку. Приняв $K = 1,0$ Вт/м² К для высокоглиноземистого огнеупорного материала, температуру металла равной 2700°F (1480°C), а толщину слоя огнеупора 2 дюйма (50 мм), в результате расчетов мы получили величину тепловых потерь, равную 29 кВт, при площади поверхности раздела металл-огнеупор в 1 м².

Для многослойной огнеупорной футеровки

$$H = \frac{(t_2 - t_1)}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3}}$$

где K_1 – теплопроводность материала 1 с толщиной слоя L_1
 K_2 – теплопроводность материала 2 с толщиной слоя L_2
 и т.д.

Приведённая расчетная формула применяется для случаев футеровки ковшей несколькими слоями различных огнеупорных материалов. В уравнении члены, содержащие коэффициенты теплопроводности и толщины слоев огнеупоров, сгруппированы, чтобы отразить свойство аддитивности.

Тепловые потери через многослойную огнеупорную футеровку

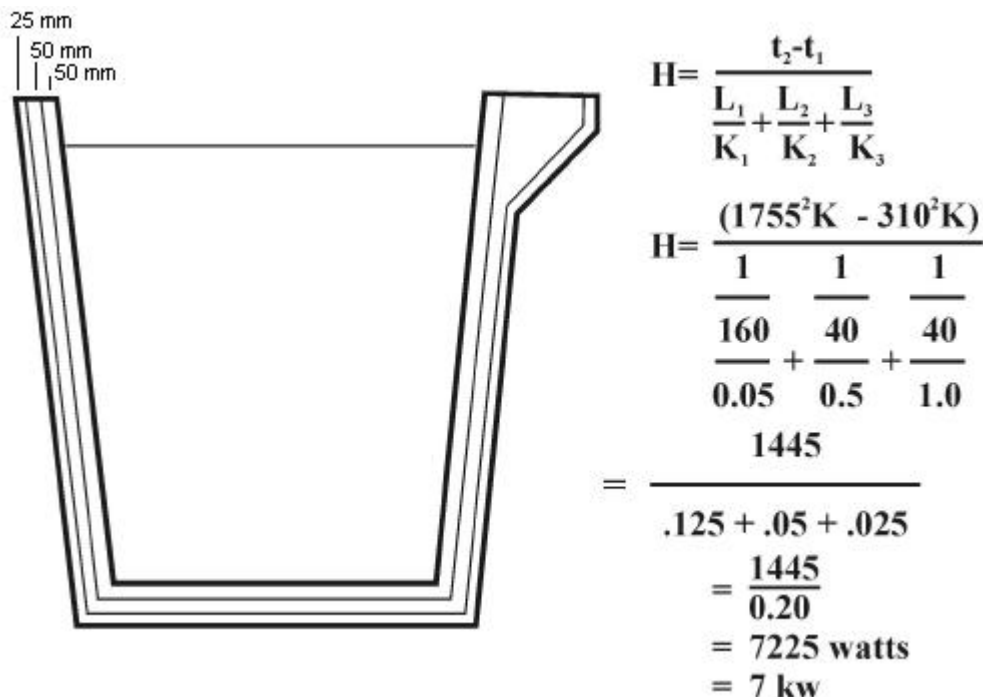


Рис. 3

На рис. 3 показан тот же ковш, что и в предыдущем примере, только вместо однослойной футеровки используется трехслойная. В данном примере использовались:

- слой из керамического картона толщиной $\frac{1}{4}$ дюйма (6,25 мм)
- 1 дюйм (25 мм) теплоизоляции
- рабочий слой высокоглиноземистого огнеупора толщиной 1 дюйм (25 мм).

Мощность потерь теплопроводностью через футеровку сократилась до 7 кВт.

Интересно, что лимитирующим звеном в процессе теплопередачи является слой керамического картона, так как соответствующий член уравнения заметно превышает вклад, как теплоизоляции, так и высокоглиноземистого огнеупора. Если рассматривается вопрос об использовании футеровки с применением керамического картона, обязательно проконсультируйтесь у Вашего поставщика огнеупоров. Этот материал будет нормально работать только в том случае, если его температура не превысит температуры разложения. Следовательно, чтобы воспользоваться преимуществами этого вида огнеупора, необходимо правильно определить виды огнеупоров, расположенных между ним и металлом, и толщину их слоев в футеровке ковша. Рабочий слой футеровки должен не только защищать керамический картон, но и обладать низкой теплоемкостью для того, чтобы уменьшить время и количество затрачиваемой энергии, необходимые для подогрева ковша. Кроме того, рабочий слой футеровки должен обладать определенной пористостью для того, чтобы процесс удаления влаги в процессе сушки ковша проходил максимально эффективно. Поставщики огнеупоров имеют в своем распоряжении компьютерные модели, позволяющие точно рассчитать распределение температур и получить рекомендации по конструкции футеровки, способной обеспечить её максимальную эффективность.

Вариант № 1: $H = 29 \text{ кВт/м}^2$
Вариант № 2: $H = 7 \text{ кВт/м}^2$
Снижение потерь $\Delta = 22 \text{ кВт/м}^2$

или около 75% от величины тепловых потерь

Рис. 4

Из рисунка 4 видно, что снижение тепловых потерь во втором варианте по сравнению с первым составляет около 75%.

Выбор огнеупорных материалов часто осуществляется на основании:

1. знания химических реакций, протекающих с участием огнеупора с одной стороны, и металла и шлака – с другой;
2. соотношения рабочих температур и свойств огнеупора,
3. соотношения между затратами на установку и ремонт и стойкостью огнеупора.

Часто выполнение одного из этих условий приводит к выбору материала с высокой теплопроводностью. Здесь необходимо уделить внимание снижению тепловых потерь. При выборе материалов с высокой теплопроводностью необходимо рассмотреть вопрос о применении дополнительного слоя термоизоляционного материала для снижения тепловых потерь.

Хорошим примером этому может служить ВЧ, при производстве которого, из-за взаимодействия магния с футеровкой на основе кремнезема, применение глиноземистых огнеупоров в качестве рабочего слоя более предпочтительно. Футеровки на основе глинозема, как правило, обладают большей теплопроводностью и поэтому выбор других теплоизолирующих слоев становится важным.

На одном из литейных производств в городе Онтарио, Канада, было достигнуто снижение тепловых потерь на 50°F (28°C) за счет того, что футеровка 500-фунтовых (220-кг) разливочных ковшей помимо обычного слоя высокоглиноземистого огнеупора (80% Al_2O_3) была дополнена двумя слоями теплоизоляции. Предприятие производит ковкий чугун, который ранее выпускали при 2850°F (1565°C), а время транспортировки и разливки составляло 6 минут. Температуру выпуска снизили до 2800°F (1537°C), при этом температура последних порций разливаемого металла была такой же, как при использовании старой футеровки. Таким образом, снижение температуры выпуска металла всего на 28 °C привело к снижению затрат электроэнергии и увеличению стойкости футеровки печи.

Еще одним видом тепловых потерь являются потери излучением. Все нагретые материалы излучают энергию, как металл, так и огнеупоры. Если накрыть ковш крышкой или экраном, то последний, нагревшись за счет излучения горячего металла или от горячих огнеупоров, начнет излучать тепло обратно на металл и огнеупорный материал.

На всех металлургических предприятиях зрелище жидкого металла является естественным и любимым действием. Мы испытываем неодолимую тягу к этому зрелищу, мы хотим наблюдать за струей металла на желобах печей, при переливе металла в ковш или при заливке в формы. Однако, эта любовь нам дорого обходится. Весь открытый металл необходимо тщательно защищать от потерь тепла излучением, что может привести к большой экономии тепла и средств, в конечном счёте.

В качестве примера можно привести применение ковша с крышкой для обработки базового чугуна на ВЧ. За счет плотного закрытия ковша крышкой оказалось возможным снизить температуру выпуска металла из печи на 50 – 75 °F (27 – 42 °C).

Другим примером является литейное производство в г. Онтарио, где изоляция 8-футового (2,5-метрового) желоба позволила повысить температуру металла в ковше на 40°F (22°C). Температура металла была приведена к исходному значению путем снижения расхода кокса. Вагранки являются прекрасными плавильными агрегатами, но они мало пригодны для нагрева жидкого металла, а снижение расхода кокса играет весьма важную роль.

Исследования компании General Motors показали, что использование ковшей с крышками позволило снизить потери температуры на 16 °F/мин (9°C/мин).

Передача тепла излучением

$$H = 5,73 \times 10^{-8} \times E \times (T_2^4 - T_1^4)$$

где	H – тепловой поток через единицу поверхности	Вт/м ²
	E – степень черноты	число от 0 до 1
	T ₁ – температура излучающего тела	°K
	T ₂ – температура тела, принимающего излучение	°K

Данное уравнение, описывает потери тепла излучением. Величина этих потерь зависит от температуры излучающего тела, например, жидкого металла или нагретого огнеупора. Зависит она

также от коэффициента E , называемого степенью черноты тела. Тело с идеальной излучательной способностью (абсолютно черное тело) имеет степень черноты равную 1, степень черноты металла и огнеупоров характеризуется числом, меньше 1.

Таблица 2. Степень черноты некоторых материалов

Материал	Температура °C	Степень черноты
Стальной лист	25 – 50	0,81 – 0,83
Стальная полоса без зачистки	35 – 350	0,95 – 0,97
Жидкий чугун с несколько окисленной поверхностью	1400 – 1600	0,25 – 0,40
Алюмосиликатный огнеупорный кирпич	1000 – 1500	
Высокоглиноземистый огнеупор		0,45 – 0,60
Низкоглиноземистый огнеупор		0,65 – 0,80
Масляная краска	50 – 100	0,92 – 0,95
Алюминиевая краска	200 – 500	0,20 – 0,30

В таблице 2 приведены данные о степени черноты некоторых материалов при различных температурах. Обратите внимание, что огнеупорные материалы имеют более высокую степень черноты, чем жидкий металл.

Излучение из ковша, заполненного металлом

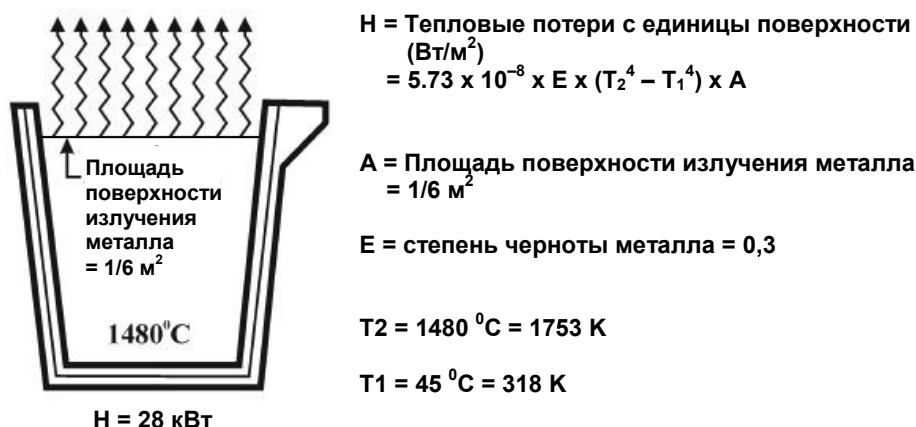
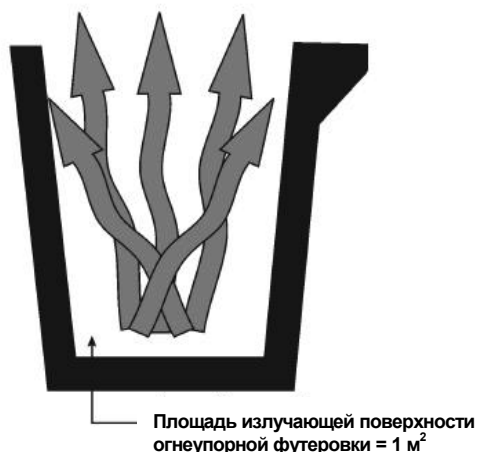


Рис. 5

На рис. 5 показан все тот же расчетный ковш. Вы, наверное, помните, что площадь поверхности раздела металл-огнеупор была равна 1 м². Для этого ковша поверхность металла, излучающая тепло в атмосферу, была равна примерно 1/6 м². Расчет дает величину тепловых потерь излучением, равную 28 кВт, что примерно соответствует величине тепловых потерь за счет теплопроводности.

Тепловые потери излучением из пустого ковша (в интервалах между заливками)

$$H = 5,73 \times 10^{-8} \times 0,45 \times (9,5 \times 10^{12}) = 245 \text{ кВт}$$



Расчет производится для тех же условий, что и в варианте № 3. Однако, в этом случае излучающая поверхность огнеупора примерно в 6 раз больше, чем поверхность металла в варианте № 3, а степень черноты высокоглиноземистого огнеупора выше, чем степень черноты поверхности металла.

Рис. 6

Из рис.6 видно, какова величина тепловых потерь излучением от нагретых огнеупоров ковша после разлива металла. Площадь излучающей поверхности огнеупорной футеровки намного больше, чем площадь поверхности металла, а степень черноты огнеупора – выше, чем степень черноты металла. В результате расчета получена величина тепловых потерь излучением с поверхности футеровки, равная 240 кВт.

Очевидно, что количество энергии, теряемое излучением с поверхности металла или футеровки открытых ковшей, весьма значительно. Это – одна из основных причин большого снижения температуры при выпуске металла в открытый ковш. Энергию, теряемую огнеупорами, необходимо вернуть. Использование закрытых ковшей (в сочетании с правильно подобранной футеровкой) для сохранения этой энергии позволяет обеспечить снижение температуры выпуска металла на величину порядка 50 °F (27 °C), что наиболее ярко проявляется при использовании ковшей с фиксированной крышкой (закрытым верхом). Большая часть энергии, теряемой за счет излучения, может быть сохранена с применением крышек.

Порядок ротации/чередования ковшей

В некоторых литейных цехах узким местом является продолжительность использования крана (или крановое время ковша), что напрямую влияет на выбор размера ковшей. Использование ковшей большего размера, сокращающих продолжительность времени работы с краном, может привести к увеличению промежутков между использованием ковшей и снижению температуры ковшей и/или повышению затрат тепла на их подогрев. Там, где технологический цикл реализован с постоянным использованием ковшей, возможно получить существенное снижение тепловых потерь.

В качестве примера можно привести цех по производству труб в г. Онтарио. В данном цехе один кран и один ковш использовали для передачи металла от копияльника вагранки к миксеру, а другой ковш с краном – для передачи металла от миксера к участкам модифицирования и заливки. Оба ковша использовались только в течение 50% рабочего времени и в промежутках рабочего цикла успевали значительно остывать. Когда для выполнения обеих операций начали использовать один ковш, то большую часть рабочего времени он содержал металл. Это позволило получить снижение потерь тепла на 35°F (19°C) на каждой из операций или в сумме на 70°F (40°C). Косвенным результатом явилось снижение расхода кокса в вагранке и снижение энергопотребления миксером. Следует оптимизировать организацию работ по транспортировке жидкого металла и постараться обеспечить такой режим работы, при котором ковши используются постоянно и не находятся долгое время в порожнем состоянии.

Тепловые потери конвекцией

$$H = 1,97 \times C \times (t_2 - t_1)^{1,25}$$

где H – тепловой поток через единицу поверхности Вт/м²
 C – коэффициент местоположения
 t₂ – температура нагретого тела °C
 t₁ – температура воздуха °C

Выше приведена формула² для расчета потерь тепла за счет конвекции. Этот механизм вносит наименьший вклад в тепловые потери жидкого металла. Обратите внимание на коэффициент местоположения C.

Значения коэффициента местоположения для потерь тепла конвекцией

Поверхность	Коэффициент местоположения (C)
Вертикальная плоскость	1,0
Горизонтальная плоскость – верх (крышки)	1,3
Горизонтальная плоскость – низ (полы)	0,7

Таблица 3

² В теплотехнике так же используется другое уравнение, описывающее потери тепла конвекцией:

$$q = hA (T_w - T_\infty),$$

где q – тепловой поток, Вт, A – площадь поверхности источника тепла, м², T_w и T_∞ – температуры источника и его окружения, К. Коэффициент конвективного теплопереноса h зависит от свойств среды, начальной скорости ее молекул, а также от формы источника тепла, и измеряется в единицах Вт/(м²*К).

В таблице 3 приведены значения коэффициента C в зависимости от пространственной ориентации нагретого тела. Вряд ли имеет смысл глубокое обсуждение вопроса конвекции, поскольку средства борьбы с этими тепловыми потерями аналогичны мероприятиям по снижению тепловых потерь излучением. Следует закрывать металл и нагретую футеровку. Наиболее важные преимущества, получаемые от снижения тепловых потерь тепла и описанные в первой части данной статьи, являются:

1. Сокращение затрат энергии на выплавку, поскольку появляется возможность выпускать металл с пониженной температурой.
2. Повышение производительности плавильного агрегата за счет снижения времени плавки (по тем же причинам).

Реализация задач по снижению тепловых потерь позволит не только снизить себестоимость продукции и поднять производительность, но и также получить еще целый ряд дополнительных преимуществ. Причем, в ряде случаев, эти дополнительные преимущества могут быть более ценными, чем основные.

Конструкция ковша с фиксированной крышкой

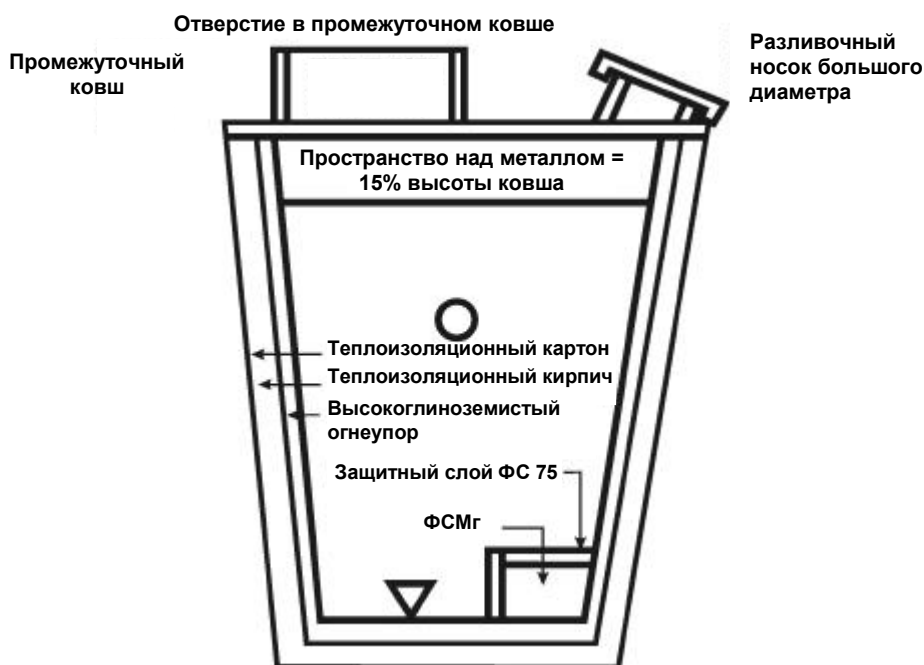


Рис. 7

На рис. 7 показан ковш с фиксированной крышкой. Приведенная конструкция характеризуется многослойной футеровкой с применением теплоизоляции и большим разливочным носком.

Применение такого ковша обеспечивает целый ряд преимуществ:

- 1) Благодаря высокой термической изоляции ковша шлак постоянно находится в горячем жидкоподвижном состоянии, поэтому он легко удаляется. Данный факт повышает стойкость футеровки и снижает трудозатраты на ее ремонт. Стойкость такого ковша при условии соблюдения правильного теплового режима, проведения периодических промывок и очистки один раз в несколько дней, может достигать нескольких месяцев. Известно, что некоторые огнеупоры разрушаются под воздействием термических ударов, т.е. при циклических нагревах и охлаждениях, если амплитуда их достаточно велика, огнеупоры разрушаются из-за растрескивания. Влияние этого фактора можно заметно снизить за счет применения закрытых ковшей, тепло в которых сохраняется, помогая избежать сильных колебаний температуры огнеупоров. Получение базового чугуна с малым содержанием серы и использование лигатур типа ФСМг с пониженным содержанием Са и Al так же позволяет увеличить срок службы футеровки. Стойкость футеровки таких ковшей при соблюдении вышеуказанных рекомендаций может достигать нескольких месяцев.

- 2) Применение такого ковша позволяет снизить расход модификатора ФСМг примерно на 25% по сравнению с открытым ковшом. Это само по себе экономически привлекательно, однако отсюда вытекают и дополнительные преимущества. Поскольку за счет снижения расхода сплава в металл поступает меньшее количество кремния, то становится возможным выпускать из плавильного агрегата чугун с более высоким содержанием Si. Это означает возможность увеличения содержания возврата в шихте. Цеха, неспособные полностью перерабатывать возврат из-за низкого выхода годного, найдут это обстоятельство особенно полезным, поскольку оно позволит экономить на закупках шихты, и сократит потери от продажи ценного возврата высокопрочного чугуна по низким ценам на чугунный лом.
- 3) Работа с повышенным содержанием кремния в тигельных индукционных печах позволяет также заметно повысить стойкость футеровки последних. Рис.8 иллюстрирует термодинамику реакции восстановления диоксидной футеровки углеродом чугуна. Полнота протекания этой реакции может быть снижена за счет повышения содержания кремния в расплаве. Разрушение кремнеземистой футеровки за счет этой реакции может быть также замедлено путем снижения температуры металла. Неоднократно отмечалось, что при производстве высокопрочного чугуна стойкость футеровки значительно ниже, чем при производстве серого или ковкого чугуна за счет более низкого отношения содержаний Si/C в расплаве. Стойкость футеровки плавильных агрегатов, производящих серый чугун, обычно выше, чем у агрегатов, производящих ковкий чугун, благодаря более низкой рабочей температуре. Различия в стойкости футеровки могут достигать нескольких недель. Отсюда становится ясным, что стойкость футеровки тигельной индукционной печи может быть заметно повышена за счет снижения температуры металла и повышения содержания кремния. В цехах, в которых возможно повысить долю возврата в шихте, можно получать базовые чугуны с пониженным содержанием серы. Повышение чистоты металла опять же позволяет снизить расход модификатора ФСМг. Этот цикл продолжается до момента достижения равновесия.

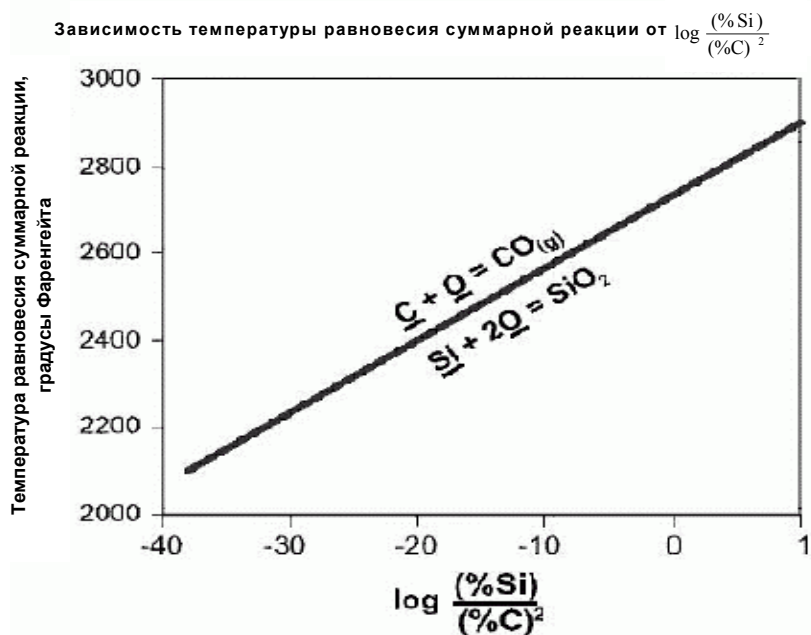


Рис. 8

Очевидно, что в сумме все полученные дополнительные преимущества весьма существенны. Их эффективность может даже превысить эффективность от первоначально поставленных целей: снижения энергозатрат или повышения производительности.

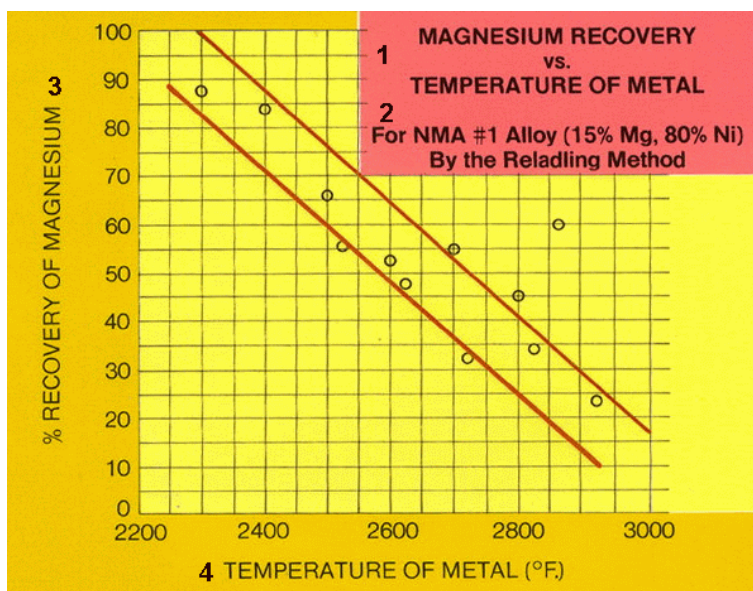


Рис. 9

Надписи на рисунке:

1. – Зависимость степени усвоения магния от температуры металла, 2. – Сплав NMA № 1 (15% Mg; 80% Ni). Метод перелива во второй ковш, 3. – Степень усвоения магния, %, 4. – Температура металла, градусы Фаренгейта.

На рис. 9 показана зависимость степени усвоения магния от температуры обработки металла. Из рисунка видно, что при снижении температуры обработки на 50°F (28°C) степень усвоения магния должна возрасти примерно на 10%. Однако, на практике обычным является снижение расхода модификатора типа ФСМг на 20-25%. Более высокая степень усвоения магния, как предполагается, частично обусловлена отсутствием кислорода в ковше после заливки туда части металла. При этом находившийся в ковше кислород частью покидает ковш с воздухом, расширившемся за счет нагревания, а частью расходуется на реакцию с первичными парами магния. Наличие металлического магния, обнаруженного на поверхности огнеупоров в верхней части ковша, подтверждает справедливость такого предположения. Очевидно, что применение закрытых ковшей сокращает контакт металла с кислородом атмосферы и, соответственно, потери элементов за счет окисления. При работе с легкоокисляемыми металлами применение закрытых ковшей позволит снизить потери ферросплавов и повысить стабильность химического состава.

Еще одним важным параметром при производстве отливок является температура заливки. Всем нам известны дефекты отливок, которые возникают при заливке форм слишком горячим или холодным металлом. К дефектам заливки горячим металлом относят пригар, а холодного – недолив и пр.

Интервал температур заливки

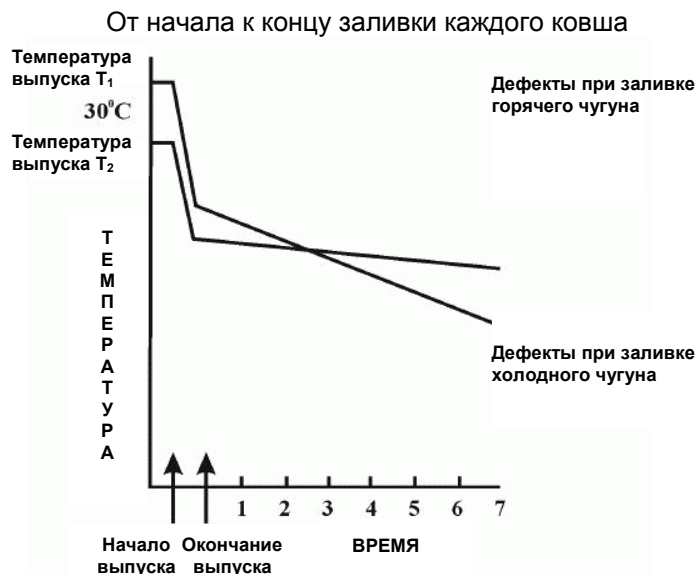


Рис. 10

На рис.10 показано изменение температуры заливки для двух различных ковшей. Один из них - ковш открытой конструкции с однослойной футеровкой высокой теплопроводности; а второй накрыт крышкой и имеет хорошую теплоизоляцию. Очевидно, что падение температуры заливки во втором случае существенно ниже. Закрывание ковша крышкой в сочетании с дополнительной теплоизоляцией во многих случаях позволяет заметно снизить уровень дефектов, связанных с заливкой перегретого или холодного металла. Производство бракованных отливок по вине металла является одной из серьезнейших проблем для любого литейного производства.

Влияние времени выдержки металла на глубину отбела опытных отливок толщиной 1/8" дюйма (3 мм)

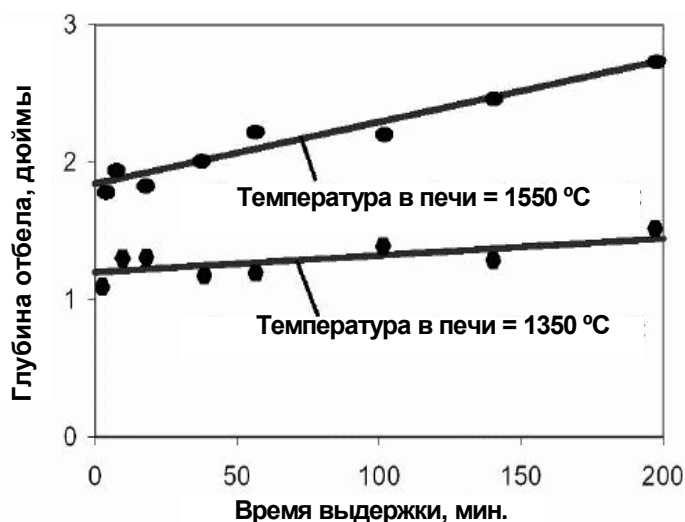


Рис. 11

Рис.11 иллюстрирует отрицательное влияние высокой температуры выпуска металла из печи на глубину отбела.

Влияние температур заливки и обработки на модифицирование

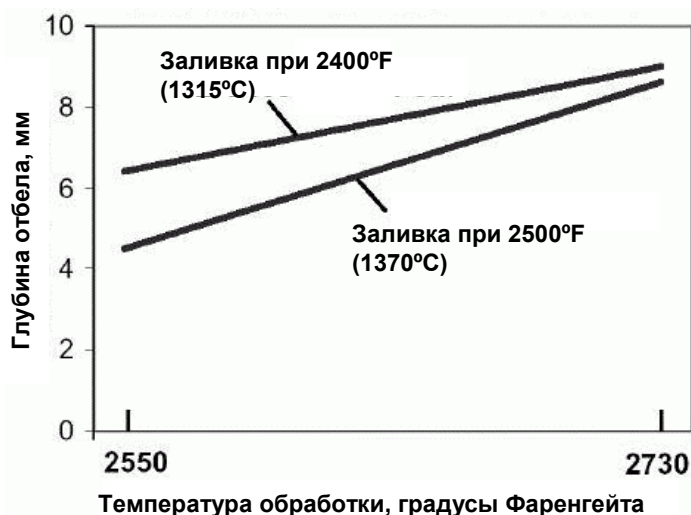


Рис. 12

На рис.12 показано отрицательное влияние низких температур заливки на контроль за отбелом. Очевидно, чтобы контролировать отбел, необходимо избегать перегрева металла на выпуске и чрезмерного охлаждения при заливке форм. Оптимальное сочетание может быть достигнуто за счет применения термически оптимизированных ковшей.

Ряд исследователей, изучавших влияние различных факторов на степень шаровидности графита в высокопрочном чугуна, пришли к выводу, что снижение температуры заливки приводит к уменьшению количества шаровидного графита, появлению пластинчатого графита и/или к росту содержания карбидов в чугуне. Следовательно, сочетание пониженной температуры выпуска и повышенной

температуры заливки за счет применения теплоизолированных ковшей, представляется надежным средством обеспечения производства чугуна с шаровидным графитом со стабильно высоким качеством.

Помимо чугуна, при литье прочих сплавов можно наблюдать и другие эффекты:

1. Управление размером зерна в отливках из различных сплавов является одним из важнейших факторов соблюдения технических требований к литым изделиям. Для достижения этой цели требуется обеспечение постоянства температуры металла на всем протяжении заливки из одного ковша.
2. Окисление различных материалов протекает наиболее интенсивно с ростом температуры, как, например, при выплавке сплавов алюминия. К настоящей работе приложен перечень фактических данных, подтверждающих это положение. Выпуск металла с пониженной температурой в термически оптимизированный ковш может способствовать снижению потерь металла от окисления. Закрытие выпускного желоба вагранки может способствовать также снижению потерь углерода и кремния. Таким образом, оба мероприятия по экономии энергии позволяют также экономить на расходе легирующих.
3. Некоторые сплавы, такие, как, например, различные марки стали, коррозионностойкие стали и алюминий, активно поглощают газы при высоких температурах выплавки и на выпуске. Скорость поглощения водорода коррозионностойкими сталями 300-й серии и алюминием при высоких температурах весьма высока. Поглощение водорода алюминием ускоряется при параллельном протекании процесса окисления. Энергетическая оптимизация конструкций плавильных агрегатов и ковшей позволяет сократить длительность плавки и снизить температуру выпуска, сокращая, соответственно, затраты на мероприятия и материалы для проведения дегазации расплава и/или перевода растворенных газов в безопасное состояние, например, при оптимизации содержания азота в сталях за счет модифицирования сплавами системы ZrSi.

Исследования компании General Motors показали, что расход газа на подогрев ковшей может быть уменьшен вдвое, а уровень шума от газовых горелок снижен существенно, если ковши при подогреве закрывать крышками. Такие ковши могут быть нагреты до более высокой температуры, их можно прогревать более равномерно.

Немаловажный фактор - экологический. Закрытые крышками ковши с хорошей теплоизоляцией существенно улучшают условия труда на литейном производстве. Воздух становится значительно чище, а уменьшение излучения с открытых поверхностей металла или от настелей в ковшах существенно повышает комфортность условий труда работников горячих участков. Здесь необходимо отметить, что именно последнее обстоятельство было одной из основных целей европейских литейщиков, разработавших конструкцию ковша с крышкой.

Очень часто на литейных предприятиях используют ковши с толщиной футеровки всего лишь в 1 дюйм (2,5 см). Обычно это мотивируется желанием повысить производительность за счет увеличения полезного объема ковша. Однако, осуществление затрат на новый ковш несколько большего объема, который может быть теплоизолирован и накрыт крышкой, позволит еще больше поднять производительность, обеспечивая при этом выпуск продукции стабильно высокого качества, что гораздо прибыльнее по сравнению с высокой производительностью по выпуску продукции переменного качества или даже брака.

Рекомендуем тем, кто захочет внедрить у себя описанные технологические приемы, проконсультироваться у специалистов своих поставщиков огнеупоров. Экономия и преимущества могут быть весьма значительными, практически не требуя капитальных вложений. Так, одной из причин успешного развития японской промышленности явилось то, что японцы активно использовали технологические новшества, разработанные в Северной Америке и которые сами американцы так и не удосужились внедрить у себя. Во многих случаях, достаточно лишь воспользоваться технологическими решениями, которые доступны нам уже сейчас, использовать творческий подход для адаптации их к условиям конкретных производств, и, наконец, внедрять и использовать их.