УДК 669.001.5:669.04

З.К. Кабаков, Д.И. Бородин, Н.Е. Хисамутдинов, М.А. Пахолкова

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ КРЫШКИ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

В статье представлены результаты исследования влияния крышки на тепловые процессы в сталеразливочном ковше при транспортировке (выдержке) металла и продувке аргоном. Определено условие выбора параметров огнеупорной изоляции крышки. Выполнена оценка ожидаемого экономического эффекта от применения крышки.

Ковш, крышка, продувка аргоном, внепечная обработка стали.

The article presents the results of investigating the influence of the cover on the thermal processes in the steel – smelting ladle during the transportation of metal and argon purge. The condition for selecting the parameters of heat – resistant insulation of the cover is determined. The expected economic effect from the application of the cover is assessed in the article.

Ladle, cover, argon purge, out-of-furnace treatment of steel.

В настоящее время в сталеплавильных агрегатах производится только полупродукт, а остальные технологические операции по доводке стали проводятся на агрегатах внепечной обработки. Продолжительность обработки на всех маршрутах может достигать в конвертерном производстве ЧерМК до 2 – 3 часов.

Как показал анализ тепловых процессов, выполненных с использованием математической модели [2], температура металла при этом существенно снижается, поэтому металл в ковше подогревают до требуемой температуры на установке подогрева металла (УПК). На основе анализа экспериментальных данных установлено, что значительное время этой обработки занимает транспортировка (выдержка) 30 – 70 % и продувка металла аргоном 33 – 60 %.

Рассмотрим возможность сокращения потерь теплоты и уменьшение затрат электронергии на УПК с использованием крышки для сталеразливочного ковша на этих технологических операциях. Для этого выполним исследование тепловых процессов в сталеразливочном ковше с крышкой на основе математической модели [1].

Исследование проведено при исходных данных, приведенных в табл. 1. Рассматривается процесс охлаждения металла после выпуска его из конвертера или усреднительной продувки аргоном.

Результаты исследований тепловых процессов при применении крышки представлены на рис. 1 – 5. На рис. 1 – 3 приведены кривые охлаждения металла, скорости охлаждения и температуры внутренней и внешней поверхностей крышки для различной толщины теплоизоляции.

Таблица 1

Исходные данные

Наименование величины	Размерность	Значение
1. Плотность стали	кг/м^3	7000
2. Коэффициент теплопроводности стали	Вт/(мК)	29
3. Теплоемкость стали	Дж/(кгК)	690
4. Кинематическая вязкость стали	м^2/с	$3{,}5 \cdot 10^{-7}$
5. Теплоемкость шлака	Дж/(кгК)	1000
6. Плотность шлака	кг/м^3	3320
7. Теплота кристаллизации шлака	кДж/кг	210
8. Коэффициент теплопроводности шлака	Вт/(мК)	3,5
9. Кинематическая вязкость шлака	м^2/с	$3 \cdot 10^{-6}$
10. Степень черноты шлака		0,95
11. Температура ликвидуса шлака	^{o}C	1355
12. Температура солидуса шлака	^{o}C	1305
13. Толщина слоя 1 футеровки стенки	м	0,15
14. Коэффициент теплопроводности 1 слоя футеровки стенки (плавленый периклаз)	Вт/(мК)	5,06
15. Толщина слоя 2 футеровки стенки	м	0,1
16. Коэффициент теплопроводности 2 слоя футеровки стенки (ШКУ – 37)	Вт/(мК)	1,48
17. Толщина слоя 3 футеровки стенки	м	0,01

Продолжение

Наименование величины	Размерность	Значение
18. Коэффициент теплопроводности 3 слоя футеровки стенки (алюмосиликатное волокно)	Вт/(мК)	0,4
19. Толщина слоя 1 футеровки днища	м	0,3
20. Коэффициент теплопроводности 1 слоя футеровки днища (высокоглиноземистый бетон на основе корунда)	Вт/(мК)	2,42
21. Толщина слоя 2 футеровки днища	м	0,08
22. Коэффициент теплопроводности 2 слоя футеровки днища (МКРП – 45)	Вт/(мК)	1,57
23. Толщина слоя 3 футеровки днища	м	0,21
24. Коэффициент теплопроводности 3 слоя футеровки днища (высокоглиноземистый бетон на основе корунда)	Вт/(мК)	3,03
25. Толщина слоя 4 футеровки днища	м	0,01
26. Коэффициент теплопроводности 4 слоя футеровки днища (алюмосиликатное волокно)	Вт/(мК)	0,4
27. Толщина крышки	м	0,1 – 0,3
28. Коэффициент теплопроводности футеровки крышки (рулонный материал)	Вт/(мК)	1,1

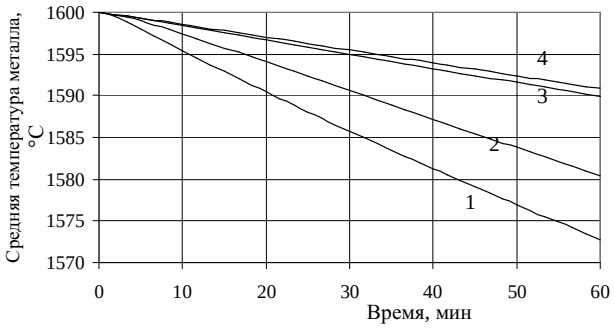


Рис. 1. Кривые охлаждения металла: 1 – ковш без крышки, 2 – толщина крышки 0,01 м, 3 – 0,1 м, 4 – 0,2 м

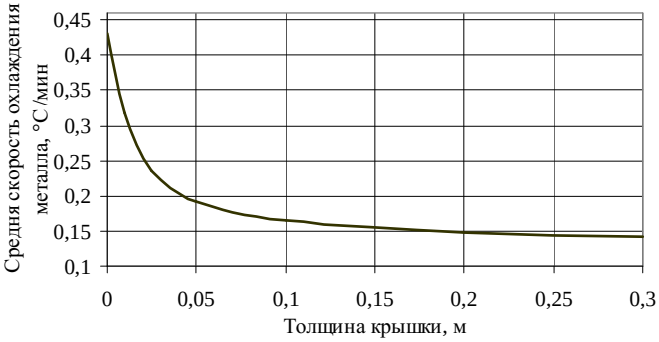


Рис. 2. Средняя скорость охлаждения металла

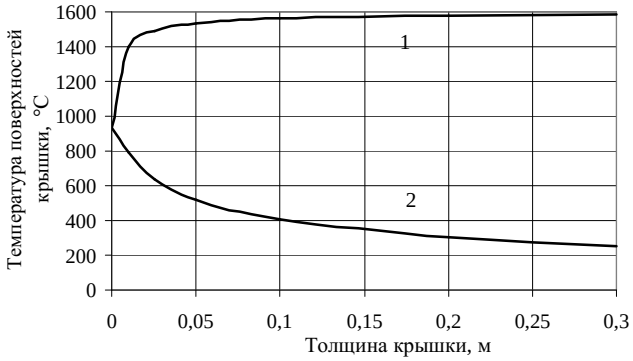


Рис. 3. Изменение температуры крышки в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя: 1 – внутренняя поверхность крышки, 2 – внешняя поверхность крышки

На рис. 1 и 2 видно, что при увеличении толщины крышки более 0,2 м (или термического сопротивления $l_{кр}/\lambda_{кр}$ более 0,2 м$^2 \cdot$ К/Вт) влияние крышки на тепловые процессы существенно уменьшается. При этом температура внутренней поверхности крышки стремится к температуре шлака, а температура внешней поверхности стабилизируется на уровне 250 ^{0}С (рис. 3). Поэтому параметры огнеупорной изоляции крышки следует выбирать из условия $l_{кр}/\lambda_{кр} \geq 0,2$ м$^2 \cdot$ К/Вт.

На рис. 4 приведен состав тепловых потерь при охлаждении стали в ковше при транспортировке с крышкой и без нее.

Как следует из рис. 4 основное сокращение потерь теплоты при использовании крышки происходит через шлак, использовании крышки при транспортировке (выдержке) металла в ковше позволит сократить общие потери теплоты более, чем в 2 раза.

На рис. 5 представлен состав тепловых потерь при охлаждении стали в ковше при продувке стали аргоном с крышкой и без нее.

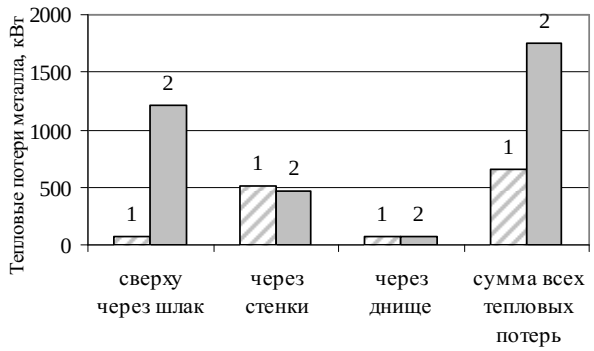


Рис. 4. Состав тепловых потерь при охлаждении стали в ковше во время транспортировки:

1 – с крышкой, 2 – без крышки

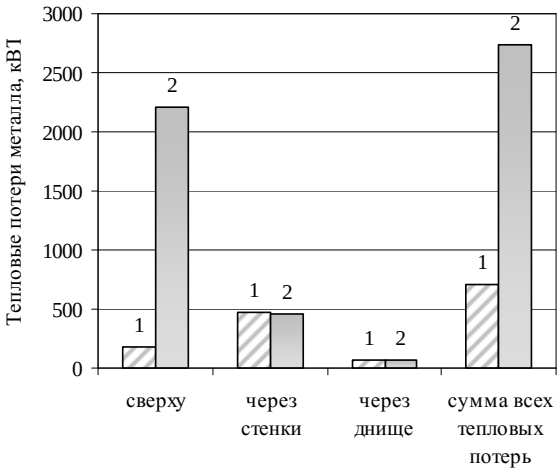


Рис. 5. Состав тепловых потерь при охлаждении стали в ковше во время продувки аргоном:

1 – с крышкой, 2 – без крышки

Как видно на рис. 5, использование крышки при продувке сокращает общие потери теплоты более, чем в 3 раза.

Следует отметить, что сокращение тепловых потерь от ковша со сталью, накрытого крышкой, позволяет нагревать сталь на УПК меньше на 10 ^{0}С, чем без крышки (через 0,5 часа выдержки в ковше) и экономить энергоресурсы при внепечной обработке и разливке. Стоимость одного МВт · ч электроэнергии для условий ЧерМК ОАО «Северсталь» (данные 2010 г.) : 1860 руб.

Согласно паспорту плавки стали марки 09Г2СФ, для поддержания температуры с учетом последующих операций на УПК сталь нагрели с 1527 °С до 1650 °С. При этом затрачено на нагрев $Q_{\text{общ}} = 18,067$ МВт · ч электроэнергии, разница начальной и конечной температур составляет 123 °С. Таким образом, для нагрева металла в ковше на УПК на 1 °С потребуется 0,15 МВт · ч электроэнергии, согласно формуле:

$$\frac{Q_{\text{общ}}}{\Delta T} = \frac{18,067}{123} = 0,15 \frac{\text{МВт} \cdot \text{ч}}{^\circ\text{С}}.$$

При уменьшении начальной температуры нагрева металла на 10 °С перед его подачей на УПК за счет применения крышки, уменьшения времени пребывания стальковша на УДМ на пути от конвертера до УПК затраты электроэнергии снизятся на: $Q_э = 0,15 \cdot 10 = 1,5$ МВт · ч.

Ожидаемый экономический эффект за год составит:

$$Э = Q_э \cdot Ст \cdot n = 1,5 \cdot 1860 \cdot 6100 \approx 17000000 \text{ руб.},$$

где n – количество плавок в год на УПК, Ст – стоимость 1 МВт·ч.

Таким образом, в результате исследований тепловых процессов при охлаждении стали в сталеразливочном ковше установлено, что использование крышки при транспортировке позволяет уменьшить тепловые потери от металла более, чем в 2 раза, а при продувке аргоном – более, чем в 3 раза. Ожидаемый экономический эффект от применения крышки при транспортировке и соответственно сокращения времени подогрева металла на УПК составит более 17 млн. рублей. Толщину l и теплопроводность λ теплоизоляции крышки рекомендуется выбирать из условия: $l_{\text{кр}} / \lambda_{\text{кр}} = 0,2$ м$^2 \cdot$ К/Вт.

Литература

1. *Кабаков, З.К.* Двумерная математическая модель охлаждения металла в сталеразливочном ковше / З.К. Кабаков, М.А. Пахолкова // Материалы XI Межвузовской заочной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. – Череповец, 2010. – С. 104 – 108.

2. *Кабаков, З.К.* Закономерности охлаждения металла в ковше в зависимости от различных факторов / З.К. Кабаков, М.А. Пахолкова // Череповецкие научные чтения – 2010: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии». – Череповец, 2010. – С. 12 – 17.