

**П.А. Плохих**, канд. техн. наук, доцент

**Ю.В. Хавалиц**, мастер пр-го обучения, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com

**П.А. Плохих**, магистр

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

## Исследование температурных полей по толщине футеровки и высоте ковша во время сушки и разогрева сталеразливочных ковшей с различной футеровкой

Целью настоящей работы является определение распределения температуры футеровки сталеразливочных ковшей как по высоте ковша, так и по толщине футеровки в разных ее горизонтах во время сушки и разогрева ковшей. Для проведения исследований были взяты в работу сталеразливочные ковши № 7 и № 18, футеровка которых была выполнена из муллитокорундовой массы (ММК-65) и ковш № 13 с периклазоизвестковой футеровкой.

**Ключевые слова:** термопара, футеровка, ковш, кожух, многопозиционный прибор, сушка, броня.

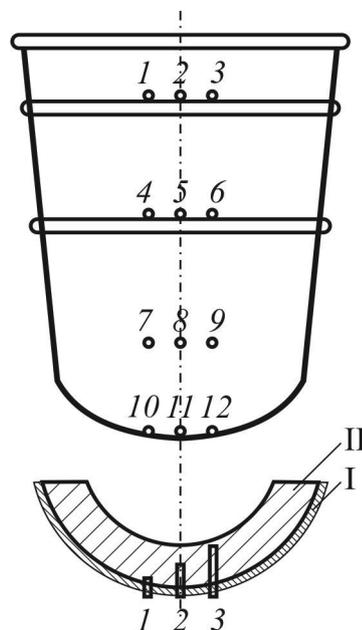
**Введение.** В отечественной и зарубежной практике при разработке новых конструкций огнеупорных обмуровок сталеразливочных ковшей предпочтение отдается монолитным и особенно комбинированным футеровкам, обеспечивающим высокую и равную износостойкость отдельных зон и элементов. В этой связи первостепенное место отводится вопросам подготовки сталеразливочных ковшей (сушка и разогрев футеровки), к приемке жидкого металла. Как показала практика, в этом вопросе далеко не все однозначно, имеются свои особенности, и авторы данной работы решили разобраться в них.

**Материалы и методы.** Работа проводилась в кислородно-конвертерном цехе МК «Азовсталь».

Для определения распределения температурных полей по толщине футеровки и высоте ковша во время его сушки и разогрева была разработана схема расположения термодпар в теле футеровки (рис. 1), а также подготовлены хромель-алюмелевые термодпары в необходимом количестве и многопозиционный прибор КСП 4.

Для проведения исследований были взяты в работу сталеразливочные ковши № 7 и № 18, футеровка которых была выполнена из муллитокорундовой массы (ММК-65) и ковш № 13 с периклазо-известковым кирпичом (ПИБС-50). Из ковша № 7 и № 13 была полностью удалена отработанная футеровка, а ковш № 18 с новым корпусом впервые взят в работу.

Последней операцией перед началом футеровки сталеразливочного ковша была прочистка выпарных отверстий и в корпусе, и в днище ковша (при их наличии в нем). Эта операция проводилась вручную одним из каменщиков с помощью молотка и металлического штыря. Количество выпарных отверстий в корпусе ковша составляет 120–130 штук, в днище – 32 штуки. Всего таких отверстий порядка 150–160 штук. Если учесть, что большинство из них необходимо прочищать, используя лестницу, либо с



**Рис. 1.** Схема расположения термодпар в футеровке сталеразливочного ковша: I – металлический кожух; II – футеровка; 1, 2, 3, ...12 – номера термодпар

помощью другого приспособления, то становится понятным, какое может быть качество работы.

Если учесть, что эти отверстия плотно зарастают в процессе эксплуатации, то их не всегда удается даже обнаружить.

Для более качественного выполнения операции по прочистке выпарных отверстий необходимы следующие условия:

1. Увеличить диаметр выпарных отверстий с 12 до 20 мм.

2. Механизировать процесс, применив либо пневмодолото, либо пневмодрель.

Поскольку ковши № 7 и № 13 были оборудованы запасными днищами, в которых отсутствовали выпарные отверстия, то для ввода термодпар пришлось

прорезать с помощью газокислородного резака два отверстия диаметром 16–18 мм, в которые были вставлены штыри и после этого, согласно технологической инструкции ТИ 232-156, производилась футеровка.

После завершения всех работ ковши устанавливались на стенд для сушки и разогрева, где оснащались термопарами для определения изменения температуры по толщине и высоте футеровки ковша, а также по толщине футеровки днища ковша. Схема расположения термопар в теле футеровки ковша представлена на рис. 1. Глубина залегания соответствующей термопары в теле футеровки представлена в табл. 1.

Термопары вводились в тело футеровки через выпарные отверстия в предварительно проделанные каналы. Во избежание выпадения термопар из каналов, они закреплялись на электродах и с ними вводились в тело футеровки. После установки на нужную глубину, термопары крепились в выпарном отверстии с помощью деревянных клинышков. Всего в ковш № 7 было введено 12 штук таких термопар: 9 – в тело футеровки самого ковша, а 3 – в тело футеровки днища ковша.

После проведения замеров на ковше № 7 и определения мест, наименее прогреваемых при разогреве и сушке ковша, а таковыми оказались особенно днище и прилегающий к нему нижний слой футеровки стен ковша, на ковше № 18 ограничили шестью термопарами, а на ковше № 13 – четырьмя.

Вводили термопары только для замера температуры в вышеуказанных зонах, что соответствует позициям 7, 8, 9, 10, 11 и 12 ковшей № 7, № 18 и позициям 7, 8, 10 и 11 для ковша № 13 (см. рис. 1). Причем, если в теле футеровки стен ковша три термопары (позиции 3, 6, 9) находились практически у поверхности рабочего слоя футеровки, то в футеровке днища ковша максимальная глубина залегания термопары составляла всего 300 мм (при толщине футеровки днища 615 мм), то есть спай термопары касался нижней поверхности кирпичной футеровки ее нижнего ряда.

Все двенадцать термопар были подсоединены к измерительному прибору КСП 4 с помощью компенсационных проводов. После оснащения ковша термопарами приступили к его сушке и разогреву по режиму, соответствующему ТИ- 232-156, в течение 32 часов.

Ковши № 18 и № 13 оснащались термопарами уже в процессе сушки и разогрева за 6 и 4 часа, соответственно до окончания данной операции.

**Результаты и обсуждение.** Температурный режим сушки и разогрева сталеразливочного ковша № 7 представлен на рис. 2. Анализ диаграммы данного режима показывает, что в первый период (период сушки) скорость нарастания температуры рабочего слоя футеровки внутри ковша составляла 13,4 °С/ч и к концу периода составляла 214 °С.

Скорость нарастания температуры в середине футеровки стен ковша в период сушки составляла 6,8 °С/ч, и к концу периода температура составляла 110 °С. Скорость нарастания температуры футеровки у брони ковша составляла 5,0 °С/ч, и к концу периода температура составляла 80 °С.

Несколько иная картина наблюдалась с нарастанием температуры в футеровке днища ковша. Скорость нарастания температуры в толще футеровки на 300 мм от брони составляла в период сушки всего 4,6 °С/ч, и к концу периода температура составляла 74 °С. Скорость нарастания температуры в толще футеровки днища на глубине 160 мм составляла 3,9 °С/ч, и к концу периода температура составляла 62 °С. Скорость нарастания температуры у брони днища ковша составляла всего 3,5 °С/ч, и к концу периода температура составляла 56 °С. Из изложенного видно, что для ковша, футерованного муллитокорундовой массой (ММК-65), окончание периода сушки ковша является началом периода сушки его днища.

Период разогрева ковша, который начинается через 16 часов от начала всего периода сушки и разогрева, характеризуется другими данными. Скорость нарастания температуры рабочего слоя футеровки ковша составляла 31,9 °С/ч, и к концу периода температура составляла 725 °С. Скорость нарастания температуры в середине футеровки стен ковша составляла 22,5 °С/ч, и к концу периода температура составляла 470 °С. Скорость нарастания температуры у брони ковша составляла 3,1 °С/ч, и к концу периода температура составляла 130 °С.

Иная картина наблюдалась с нарастанием температуры в этот период в футеровке днища ковша. Скорость нарастания температуры в толще футеровки на 300 мм от брони ковша составляла 9,9 °С/ч, и к концу периода температура составляла 232 °С.

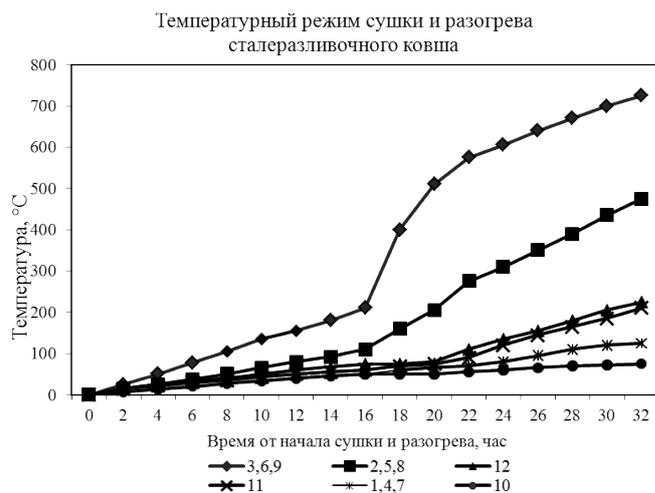


Рис. 2. Температурный режим сушки и разогрева сталеразливочного ковша. 1, 2, 3 ... 12 – номера термопар

Таблица 1

Глубина залегания термопар в футеровке сталеразливочного ковша № 7

Номер термопары	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глубина залегания, мм	20	130	180	20	140	220	20	150	260	25	160	300

Скорость нарастания температуры в толще футеровки днища на глубине 160 мм составила 9,4 °С/ч, и к концу периода температура составляла 210 °С. Скорость нарастания температуры у брони днища ковша к концу всего периода составляла 1,5 °С/ч, и была температура всего 82 °С.

Исследования показали, что, несмотря на то, что к концу периода сушки и разогрева температура рабочего слоя футеровки ковша внутри его составляла 725 °С, а у брони 130 °С, тогда как температура футеровки днища у брони составляла всего 82 °С. Наблюдения показали, что когда ковш забирали в работу, то из отверстий, в которые были вставлены термомпары, после их извлечения, кроме обильного выделения пара, наблюдалась обильная капель мутной жидкости, что свидетельствует о том, что не вся влага удалена из футеровки днища и особенно из набивного слоя толщиной всего порядка 150 мм. Виной тому отсутствие выпарных отверстий в днище сталеразливочного ковша, через которые влага должна удаляться наружу.

С целью проверки данного предположения были проведены замеры температуры на новом, впервые взятом в работу ковше № 18, с аналогичной, муллитокорундовой футеровкой и с выпарными отверстиями в днище. Зная характер изменения температур в футеровке ковша, решили ограничиться только зонами ковша, наименее прогреваемыми за период сушки и разогрева, и, поэтому, представляющими наибольший интерес для исследования, а замеры производить в конце периода разогрева за 6 часов до его окончания. Сталеразливочный ковш был оснащен шестью термомпарами, аналогично позициям 7, 8, 9, 10, 11 и 12 (см. рис. 1). Результаты замеров представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 практически повторяют замеры, проведенные на ковше № 7. Сравнивая данные табл. 2 с данными рис. 2, следует обратить внимание на тот факт, что в днище ковша № 7 не было выпарных отверстий, ковш № 18 был новый, в днище которого было необходимое количество выпарных

отверстий, а температура футеровки днища ковша у брони была практически одинаковой и составляла соответственно 82 и 80 °С.

Дело в том, что в днище ковша № 18 хотя и имелись выпарные отверстия, и через них в начале процесса сушки обильно выделялась влага, но уже к концу периода сушки, то есть через 14–15 часов от начала процесса, они практически не функционировали, так как были наглухо забиты затвердевшей огнеупорной массой и, только после их прочистки, через них стал выходить пар. Пока будет находиться влага в нижнем набивном слое, до тех пор не удастся поднять температуру футеровки днища ковша выше 80 °С.

С целью определения распределения температур в толще футеровки сталеразливочного ковша № 13, футерованного периклазо-известковым кирпичом (ПИБС-50), пришлось ограничиться четырьмя термомпарами аналогично позиций 7, 8, 10 и 11 (см. рис. 1). Зная, что режим сушки и разогрева ковшей, согласно ТИ-232-156, вполне обеспечивает необходимый прогрев рабочего слоя футеровки (см. рис. 2), решили проверить температуру нагрева арматурного слоя и набивного слоя днища ковша. Результаты замеров представлены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что режим сушки и разогрева футеровки сталеразливочных ковшей, футерованных периклазо-известковым кирпичом (ПИБС-50), согласно ТИ 232-156, вполне соответствует необходимым требованиям, то есть подавать ковш под плавку без наличия влаги.

Это вполне естественно, так как теплопроводность периклазоизвестковой футеровки 26 ккал/(м·ч·град), а муллитокорундовой – 12 ккал/(м·ч·град) [1, 2]. В то же время в ковшах с периклазоизвестковой футеровкой отсутствует основной источник влаги – набивная масса [3]. А то незначительное количество влаги, которое содержится в растворе, на котором производится кладка кирпичной футеровки и в набивном слое, толщина которого всего несколько миллиметров, вполне успевает удалиться из ковша во время сушки и разогрева.

Таблица 2

**Распределение температуры в толще футеровки сталеразливочного ковша № 18**

Время от начала сушки и разогрева, час	Номер термомпары					
	7	8	9	10	11	12
27	102	369	646	72	150	170
28	106	388	663	74	162	182
29	112	406	676	75	174	194
30	118	425	690	77	186	206
31	122	446	702	78	198	218
32	128	465	718	80	206	228

Таблица 3

**Распределение температуры в толще футеровки сталеразливочного ковша № 13**

Время от начала сушки и разогрева, час	Номер термомпары			
	7	8	10	11
9	148	591	93	368
10	150	600	95	377
11	153	608	96	386
12	155	617	97	394

## Выводы

1. Для сталеразливочных ковшей, футерованных периклазо-известковыми огнеупорами (ПИБС-50), режим сушки и разогрева, согласно ТИ 232-156, вполне соответствует условиям подготовки ковша к приему плавки.

2. Для сталеразливочных ковшей, футерованных муллитокорундовой массой ММК-65, ввиду большого количества влаги, содержащейся в набивной массе, режим сушки и разогрева, согласно ТИ 232-156, не вполне соответствует требованиям, предъявляемым к подготовке сталеразливочных ковшей к приему жидкого металла. К этим несоответствиям в первую очередь следует отнести следующее:

1) отсутствие выпарных отверстий в ЗИПовских днищах, (а таких ковшей в настоящее время в кислородно-конвертерном цехе находится в эксплуатации 90 % (24 из 27), не дает возможности удалиться влаге из нижних горизонтов футеровки днища ковша наружу, последняя скапливается на броне ковша и при высоких температурах от горячего металла диссоциирует и диффундирует в жидкий металл. Но это тема отдельного исследования;

2) по существующей технологии футеровки сталеразливочных ковшей муллитокорундовой массой,

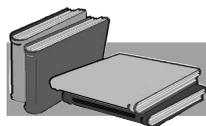
выпарные отверстия после первой же набивки, сушки (в особенности) и разогрева забиваются массой, практически выходят из строя и на протяжении всего времени эксплуатации ковша свои функции не выполняют.

С целью предотвращения зарастания выпарных отверстий в днище сталеразливочного ковша необходимо изменение в конструкции футеровки днища, а также некоторое конструктивное усовершенствование металлического кожуха в следующих направлениях:

– оснащение днища сталеразливочного ковша выпарными отверстиями увеличенных размеров (вместо 12 мм до 20 мм) с целью качественного обслуживания;

– оборудование сталеразливочного ковша изнутри дополнительными каналами отвода влаги с нижних горизонтов футеровки днища;

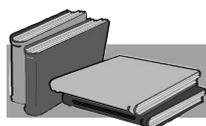
– размещение на металлической броне днища ковша дренажного слоя толщиной 100–150 мм (он же выравнивающий слой) из различных материалов (обоженный доломит, бой шамота, бой отработанной муллитокорундовой массы и т. д.).



## ЛИТЕРАТУРА

1. Залкинд И.Я., Троянкин Ю.В. Огнеупоры и шлаки в металлургии. – М.: Металлургия, 1963. – 288 с.
2. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.
3. Рябов В.В., Чалышев Г.С., Чумарин Б.А. Эффективность применения известковопериклазовых огнеупоров в футеровке сталеразливочных ковшей // Труды IV конгресса сталеплавильщиков. Москва, 7–10 октября 1996.
4. Плохих П.А., Евченко В.Н., Харлашин П.С., Плохих А.П., Плохих С.П. Свойства и условия службы огнеупоров. – Харьков: Контраст, 2009. – 408 с.

Поступила 19.11.2018



## REFERENCES

1. Zalkind, I.Ya., Troiankin, Yu.V. (1963). Refractories and slags in metallurgy. Moscow: Metallurgiiia, 288 p. [in Russian].
2. Strelov, K.K. (1982). Structure and properties of refractories. Moscow: Metallurgiiia, 400 p. [in Russian].
3. Riabov, V.V., Chalyshev, G.S., Chumarin, B.A. (1996). Efficiency of application of calcite periclase refractories in the lining of steel casting ladles. *Proceedings of the IV Congress of Steelmakers*. Moscow, October 7–10, 1996 [in Russian].
4. Plokhikh, P.A., Yevchenko, V.N., Kharlashin, P.S., Plokhikh, A.P., Plokhikh, S.P. (2009). Properties and conditions of service of refractories. Kharkov: Contrast, 408 p. [in Russian].

Received 19.11.2018

## Анотація

**П.А. Плохих**, канд. техн. наук, доцент; **Ю.В. Хавалиць**, майстер виробничого навчання, e-mail: uliya1981havalic@gmail.com;  
**П.А. Плохих**, магістр

*ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,  
м. Маріуполь, Україна*

## Дослідження температурних полів по товщині футерівки і висоті ковша під час сушіння і розігріву сталерозливних ковшів з різною футерівкою

*Метою цієї роботи є визначення розподілу температури футерівки сталерозливних ковшів як по висоті ковша, так і по товщині футерівки в різних її горизонтах під час сушіння і розігріву ковшів. Для проведення досліджень було взято в роботу сталерозливні ковші № 7 і № 18, футерівка яких була виконана з мулітокорундової маси (ММК-65) і ківш № 13 з периклазовапняною футерівкою.*

## Ключові слова

*Термопара, футерівка, ківш, кожух, багатопозиційний прилад, сушка, броня.*

## Summary

**P.A. Plokhikh**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor;  
**Yu.V. Khavalits**, Industrial Training Master,  
e-mail: uliya1981havalic@gmail.com; **P.A. Plokhikh**, Master

*SHEI "Priazov State Technical University", Mariupol, Ukraine*

## The study of temperature fields in the thickness of the lining and the height of the ladle during drying and heating of the steel-teeming ladles with different lining

*The purpose of this work is to determine the temperature distribution of the lining of steel-teeming ladles both in the height of the ladle and in the thickness of the lining in its different horizons during drying and heating of the ladle. For research, steel-pouring ladles no. 7 and no. 18 were taken into operation, the lining of which was made of mullite-alumina mass (MMK-65) and the ladle no. 13 with periclase-lime lining.*

## Keywords

*Thermocouple, lining, ladle, casing, multi-position device, drying, armor.*