

*к. т. н., доц. Куберский С. В.,  
аспирант Кузнецов Д. Ю.,  
аспирант Васильев Д. Б.,  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)  
Начальник группы непрерывной разливки  
и внепечной обработки стали Пащенко А.В.  
(ЦЛК ОАО «АМК», г. Алчевск, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ПРИ РАЗЛИВКЕ МЕТАЛЛА НА МНЛЗ**

*Досліджені технологічні параметри безперервного розливання з використанням різних шлакоутворюючих сумішей в кристалізаторах МБЛЗ. Проведена економічна і технологічна оцінка ефективності застосування сумішей різних марок і виробників для отримання безперервнолитих слябів в умовах ВАТ «АМК».*

Вступление Украины в ВТО подразумевает значительное повышение требований к отечественной металлопродукции с точки зрения качества. Это необходимо для обеспечения высокой конкурентоспособности стальных изделий не только на внутреннем но и на внешнем рынке.

Одним из путей решения данного вопроса является повсеместное внедрение непрерывной разливки стали в комплексе с современными установками для внеагрегатной обработки жидкой стали.

Важное значение для получения качественных заготовок и слябов играют используемые при разливке шлакообразующие смеси (ШОС).

Шлакообразующие смеси, применяющиеся в кристаллизаторе, в значительной мере определяют безаварийную работу машины и качество непрерывнолитой заготовки, поэтому они должны строго соответствовать условиям разливки и сортаменту разливаемых сталей.

Кристаллизующийся непрерывнолитой слиток постоянно находится под действием внешних сил, величина и характер которых определяется конструктивными параметрами МНЛЗ [1]. Основными технологическими функциями используемых смесей являются:

– уменьшение отвода тепла через зеркало металла в кристаллизаторе и предотвращение образования на нем твердой корочки;

- предотвращения вторичного окисления при контакте зеркала металла с атмосферой;
- ассимиляция всплывающих в шлак неметаллических включений;
- повышение равномерности и регулирование интенсивности теплоотвода от твердой корочки к стенке кристаллизатора;
- уменьшение силы трения между заготовкой и стенкой кристаллизатора, за счет наличия жидкой прослойки шлака;
- повышение качества непрерывной заготовки [1].

В настоящее время разработано большое количество шлакообразующих смесей имеющих существенные отличия химического состава и основных технологических параметров [2].

В условиях действующих предприятий важной проблемой остается эффективный выбор смесей для получения качественного непрерывного слитка при разливке сталей широкого марочного сортамента.

В августе 2005 года на ОАО «АМК» введена в работу двухручьева слябовая машина непрерывного литья заготовки с годовой производительностью 2,5 млн. т.

Фирма «VAI», курирующая выполнение технологии разливки металла на МНЛЗ, представила варианты использования ШОС как для утепления стали в промежуточном ковше, так и для шлакообразования в кристаллизаторах. Производитель смесей – фирма «Stollberg».

Для кристаллизатора МНЛЗ в настоящее время применяются смеси фирмы «Stollberg» следующих типов:

- разливочная шлакообразующая смесь для пуска – Accutherm ST – AP/3;
- смеси для кристаллизатора Accutherm ST – SP/666 M (гранулы), Accutherm ST – C 66/M (порошок);
- разливочные смеси – Accutherm SP/220 – DP (гранулы);
- Accutherm ST – C 89/DP (порошок);
- разливочные смеси – Accutherm ST – SP/616W1 (гранулы);
- Accutherm ST – C/625 (порошок).

В период освоения МНЛЗ и выхода на проектные параметры разливки были опробованы и использованы несколько вариантов шлакообразующих смесей для кристаллизатора. С учетом значительной стоимости и большими сроками поставки смесей фирмы «Stollberg» на МНЛЗ были использованы смеси других производителей, как отечественных, так и зарубежных.

В марте – апреле 2006 года была опробована смесь ООО «НПКП Солотвин». Смесь использовалась при разливке металла на втором ручье МНЛЗ, марка смеси 4KM – 12. На первом ручье металл

разливался под смесями «Stollberg». Система «Mold Expert» показывала аварийную ситуацию и смесь 4KM – 12 была выведена из работы, поставщику было предложено доработать состав смеси. Далее были опробованы варианты смесей ООО «НПКП Солотвин»: 4KM – 12(3) и 4KM – 12(4).

Во время разливки плавки 06800514 (34 плавки в серии) смесь 4KM – 12(3) была введена в кристаллизатор второго ручья. Разливка под данной смесью длилась 18 минут. Технологические параметры разливки были следующие: температура в промковше 1561 °С; скорость разливки 1,25 м/мин. При вводе, смесь хорошо растекалась по периметру кристаллизатора, при этом образующийся шлак был жидкоподвижный, система «Mold Expert» показывала стабильную работу кристаллизатора. Однако натяжение трения и работа трения под опытной смесью были в 2,5 – 3 раза выше, чем под сравнительной смесью «Stollberg». Затем был опробован следующий вариант смеси 4KM – 12(4). Разливка под данной смесью длилась 36 минут, температура металла в промковше 1563 °С, скорость разливки 1,25 м/мин. Визуально смесь показала положительную работу, аварийных ситуаций не возникало, «Mold Expert» показал, что работа трения и натяжение трения под опытной смесью в 1,5 – 2 раза выше, чем под сравнительной.

После проведенной доработки смеси 4KM – 12 были опробованы еще два варианта этой смеси. Так, опробование смеси 4KM – 12(8) показало, что натяжение трения увеличилось с 9 кН/м<sup>2</sup> на сравнительной до 12,5 кН/м<sup>2</sup> под опытной. Для следующего варианта смеси 4KM – 12(7) разливка проходила 20 минут. Система «Mold Expert» показала, что натяжение трения под опытной и сравнительной смесью было на одном уровне и составило 12,5 кН/м<sup>2</sup>.

В апреле – мае 2006 года проводились испытания по использованию плавной шлакообразующей смеси ШОС–Т–4–2 производства ОАО НПП «Техмет» (ТУ У 23431197.003 – 99). Испытано 8 составов опытной смеси. Наиболее благоприятные результаты получены при разливке металла под смесями ШОС–Т–4–2 (Б, Г, З). Было разлито по 50 – 80 т слябов. Удельный расход смеси на рабочей скорости разливки 1,0 – 1,4 м/мин составил 0,5 – 0,65 кг/т стали. Толщина слоя жидкого шлака составила 10 – 14 мм, что достаточно для равномерного распределения жидкой шлаковой прослойки между стенкой кристаллизатора и формирующейся корочкой сляба.

В апреле 2006 года испытывалась смесь ШОС–Т–4–2 (Г) при разливке стали 1С26. Данная марка содержит 0,22-0,26 % углерода, 0,6-0,8 % марганца, ≤ 0,05 % кремния. Удельный расход смеси составил 0,58 кг/т стали при скорости разливки 1,2 м/мин. Толщина шлака составила 14 – 15мм. На сравнительном ручье использовалась смесь

«Stollberg» и «Accutherm ST – С 66». Система «Mold Expert» по обоим ручьям показывала стабильную работу. По результатам испытаний было принято решение о дальнейшем использовании шлакообразующих смесей ШОС–Т–4–2 (З) и (Г) со следующей специализацией:

- ШОС–Т–4–2 (З) для разливки низко и среднеуглеродистых, том числе легированных марок стали;

- ШОС–Т–4–2 (Г) для разливки низкоуглеродистых и низкокремнистых, в том числе низколегированных марок стали (Mn до 1,7%).

В октябре 2006 года при разливке стали SAE 1006 для защиты зеркала металла на одном ручье применялась смесь ШОС–Т–4–2 (З), на сравнительном – штатная Accutherm St – С 89. Система «Mold Expert» по обоим ручьям работала стабильно, аварийных ситуаций не возникало. Спекание ШОС, комкование, образование «шнуров» и других проявлений анизотропии свойств шлакового покрытия не обнаружено. Темплеты отобранные с обоих ручьев для проведения металлографических исследований показали положительные результаты.

Кроме того, были исследованы технологические параметры 3-х видов смесей фирмы «Prosimet»:

- смесь «Prosimet» марки МЗ-ВАТ использовалась при разливке низкоуглеродистых и высокоуглеродистых марок стали;

- смесь марки PS5AT при разливке перитектических и доперитектических марок стали;

- смесь марки ВУМ 6АТ при разливке среднеуглеродистых, низкоуглеродистых и легированных марок стали.

На начальном этапе работы с «Prosimet» было разлито 7 плавков марки 1006 и 1008 с использованием смеси МЗ – 1АТ. Удельный расход МЗ – 1АТ составил 0,35 кг/т стали. Расход «Stollberg» на сравнительном ручье 0,36 кг/т стали. С использованием смеси PS5AT было разлито 9 плавков марки 1010 и 1008. Удельный расход опытной PS5AT 0,29 кг/т стали, сравнительной «Stollberg» 0,37 кг/т стали. С применением марки ВУМ-6АТ было разлито 8 плавков стали 1С26. Удельный расход ВУМ-6АТ составил 0,37 кг/т стали, сравнительной смеси «Stollberg» составил 0,41 кг/т стали. Система «Mold Expert» показала стабильную работу, однако смеси МЗ-1АТ и ВУМ-6АТ показали увеличение значений работы натяжения в 1,5 – 2 раза выше, чем у аналогов «Stollberg». После доработки смеси фирмы «Prosimet» используются как альтернатива «Stollberg».

В декабре 2006 года и январе 2007 года начаты испытания шлакообразующей смеси для кристаллизатора фирмы «ALSICAL». В начальный период (2 плавки) были применены 2 типа смеси

«ALSICAL» Alsiflux GS813/P и Alsiflux GS-MC22. Смеси обеих марок хорошо растекались по всему периметру кристаллизатора, смесь марки GS-MC22 незначительно комковалась. С целью оптимального выбора состава смеси, совместно со специалистами фирмы «ALSICAL» была определена для использования смесь типа Alsiflux GS813/P при разливке сталей с содержанием углерода 0,08 – 0,17 %. Была отлита серия из 3 плавков стали 09Г2С с использованием на первом ручье опытной смеси Alsiflux GS 813/P, а на втором ручье работала сравнительная смесь Prosimet PS 5 АТ. При применении смесей МНЛЗ работала стабильно, показания тепловых потоков кристаллизаторов существенно не отличались. Далее было разлито еще 6 плавков с применением смеси 813/P (сталь GLA) в качестве сравнительной смеси применялась смесь «Stollberg» ST – C/625. Расход смесей составил ST – C/625 0,43 кг/т, 813/P 0,38 кг/т. На характеристиках теплового потока кристаллизатора в начальный период разливки по первому и второму ручьям различий не наблюдалось, затем произошло ухудшение характеристик работы трения и натяжения трения по второму ручью (смесь 813/P). Так же на втором ручье были отмечены различия между этими показателями для широких и узких граней кристаллизатора, на первом ручье показания по узким и широким граням накладывались друг на друга. Это свидетельствовало о том, что смесь Alsiflux GS 813/P работает лучше, чем «Stollberg» ST – C/625.

После проведения опытного опробования, на сталях с содержанием углерода 0,08 – 0,15 % (рекомендация изготовителя) были получены удовлетворительные результаты. Для сравнения параметров разливки под смесями фирм «Stollberg» и «Prosimet» было отлито 2105 т стали марок 09Г2С, 1008, GLA, А36 на которые израсходовали 703,1 кг смеси. Удельный расход смеси на опытных плавках составил 0,33 кг на тонну стали. Качество отлитого металла под опытной смесью было на одном уровне с рекомендованными смесями фирмы «VAI» (таблица 1). Металлургические свойства смеси определялись по тепловым потокам через стенки кристаллизатора, а также величинам трения в кристаллизаторе (работа трения, натяжение трения) с использованием системы «Mold Expert» и показали преимущества этой гранулированной смеси. Качество поверхности отлитых слябов находилось на одном уровне.

В феврале 2007 года была приобретена партия смеси в объеме 20 т, которая прошла отработку в условиях действующей МНЛЗ. Стоимость одной тонны этой смеси составляет 671 евро. Одним ручьем было отлито 64 плавки или 9758,7 т стали. Расход смеси составил 3520 кг или 0,361 кг/т. Двумя ручьями было разлито 140 плавков. Суммарное количество отлитой стали составило 43915,6 т с расходом смеси 16120

кг, удельный расход составил 0,367 кг/т. Суммарный удельный расход 0,366 кг/т. Разница в расходе смеси при опытном и серийном использовании в 0,032 кг/т обусловлена большей долей отбраковки литых слябов.

Таблица 1 – Качественные показатели слябов, отлитых под смесью Alsiflux GS 813/P

№ плавки	Марка стали	№ ручья	Тип смеси	Вид дефекта				
				Точечные включения	Сегрегация	Трещины		
						поперечные	угловые	по узкой грани
1	1P12	1	GS 813/P	0	0.5	0.5	0	0.5
		2	GS 813/P	0	0.5	0.5	0	0
2	1P12	1	GS 813/P	0	1	0.5	0	0.5
		2	GS 813/P	0	1	1	0	0.5
3	1Z10	1	GS 813/P	0	0.5	0	0	0
		2	ST-C/625	0	0.5	0	0	0
4	1Z10	1	GS 813/P	0	0.5	0.5	0	0
		2	ST-C/625	0	0.5	0.5	0	0
5	HSL A	1	GS 813/P	0	0.5	0.5	0	0
		2	GS 813/P	0	0.5	0.5	0	0

В результате проведенной работы были рекомендованы наиболее эффективные шлаковые смеси для непрерывной разливки различных сталей в условиях ЦНПС ОАО «АМК» представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Рекомендуемые марки ШОС для кристаллизатора МНЛЗ в зависимости от содержания углерода

[C], %	Рекомендуемые смеси VAI	Опытная
0,02-0,07	ST-SP/220-A. ST-C89	
0,08-0,15	ST-C/625. PS5AT	Alsiflux GS 813/P
0,16-0,20	ST-C66/M. ST-SP/666M	
0,21	ST-SP/220-A	

Из шести рекомендованных смесей, в зависимости от содержания углерода, необходимо оставить смеси ST-C89 и ST-SP/220-A для стали с содержанием углерода 0,02-0,07 % и с содержанием углерода  $\geq 0,21\%$ .

В настоящее время продолжается работа по определению верхнего и нижнего интервала по содержанию углерода. Смесь «Alsiflux GS 813/P» рекомендована как базовая на опробованную группу марок стали.

*Исследованы технологические параметры непрерывной разливки с использованием различных шлакообразующих смесей в кристаллизаторах МНЛЗ. Произведена экономическая и технологическая оценка эффективности применения смесей различных марок и производителей для получения непрерывнолитых слябов в условиях ОАО «АМК».*

*The technological parameters of continuous casting with the use of different slag-forming mixtures in crystallizers of continuous casting machine are investigated. The economic and technological evaluation of efficiency of application of mixtures of different brands and producers for the receipt of continuous casting slabs in the conditions of OJSC «Alchevsk iron and steel works» is made.*

#### **Библиографический список.**

1. *Непрерывная разливка стали: Учебное пособие / С.В. Куберский – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 352 с.*
2. *Свойства шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали с повышенной скоростью / С.Л. Макуров, М.В. Епишев, А.Ю. Цупрун // Металл и литье Украины. – 2006. – №1. – С.55.*

*Рекомендовано к печати  
д. т. н., проф. Петрушовым С.Н.*