

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СОСТАВОВ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СЛЯБОВЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ МНЛЗ

Е.А. Шевченко<sup>1</sup>, Д.Р. Ганин<sup>2</sup>, К.В. Лицин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия,

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал, г. Новотроицк, Россия

В настоящее время существует большое разнообразие шлакообразующих смесей, отличающихся по химическому составу и свойствам, от правильной работы которых зависит тепловая работа кристаллизатора и качество стальных непрерывнолитых заготовок. Выбор шлакообразующей смеси с оптимальными свойствами позволяет добиться максимальных результатов по качеству готовой продукции и во многом зависит от правильного подбора химического состава смеси с учетом сортамента, производительности и условий предприятия. В связи с этим актуальна разработка рекомендаций по выбору рациональных составов и характеристик ШОС для слябовых криволинейных МНЛЗ, являющихся наиболее производительными.

Для разработки рекомендаций по выбору рациональных составов ШОС был проведен анализ производственных данных применения 22 наиболее часто используемых смесей разных производителей, таких как Stollberg, Intocast и др. На основе этого анализа массив из выбранных смесей был разбит на 12 групп под порядковыми номерами и выработаны рекомендации по применению шлакообразующих смесей рационального состава, которые могут быть использованы для разработки технологических режимов при разливке разных групп сталей на слябовых криволинейных машинах непрерывного литья данного типа.

С целью выбора рациональных составов ШОС проанализированы сведения об их использовании на криволинейных слябовых МНЛЗ в ПАО «НЛМК», ПАО «Северсталь», ПАО «ММК», АО «Уральская Сталь». На основе изучения опыта работы этих предприятий и литературных данных разработаны рекомендации по выбору рациональных составов ШОС на слябовых криволинейных МНЛЗ, которые могут быть использованы при разработке технологических режимов разливки стали.

*Ключевые слова:* шлакообразующая смесь, кристаллизатор, сляб, машина непрерывного литья заготовок, рациональный состав, технологические режимы, разливка разных групп сталей, криволинейная МНЛЗ.

В технологии непрерывной разливки стали известна во многом определяющая роль шлакообразующих смесей (ШОС), применяемых в кристаллизаторах МНЛЗ для обеспечения стабильности процесса литья и качества поверхности непрерывнолитых заготовок. Основными характеристиками ШОС являются:

- 1) температура плавления смеси, °С;
- 2) продолжительность плавления смеси, мин;
- 3) скорость плавления смеси, кг/(м<sup>2</sup>·с);
- 4) сыпучесть (растекаемость) смеси, мм;
- 5) фракционный состав порошков, мкм и гранул, мм;
- 6) насыпная масса, кг/м<sup>3</sup>;

- 7) влажность, %;
- 8) удельный расход, кг/т;
- 9) теплопроводность смеси, Вт/(м·К);
- 10) вязкость шлака при 1300 °С, Па·с;
- 11) ассимилирующая способность шлака по отношению к неметаллическим включениям;
- 12) межфазное натяжение на границе «шлак – металл», мН/м;
- 13) теплопроводность жидкого шлака, Вт/(м·К) [1, 2].

Кроме того, использование ШОС должно обеспечить оптимальные и неизменные усилия вытягивания слитков из кристаллизатора, что возможно лишь при равномерной подаче ШОС в кристаллизатор с помощью различных

механизированных и автоматизированных систем [3–5].

Существует большое разнообразие ШОС по химическим составам и свойствам, выбираемых с учетом сортамента, производительности, условий предприятия [6]. В связи с этим актуальна разработка рекомендаций по выбору рациональных составов и характеристик ШОС для слябовых криволинейных МНЛЗ, являющихся наиболее производительными.

Для решения поставленной задачи были проанализированы данные литературных источников [1–2, 6–14].

Согласно работам [2, 7, 8], по составу шлаковых расплавов применяемые при разливке стали смеси подразделяют на 3 группы, основу которых составляют тройные системы:



Наиболее широко применяются ШОС, имеющие в основе систему  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  с температурой начала плавления 1100–1200 °С.

Для придания ШОС необходимых физико-химических свойств, кроме указанной основы, в них вводят оксиды щелочных металлов, магнезия, бария, марганца другие. Влияние содержания компонентов ШОС на ее физические свойства показано в табл. 1 [10].

Добавки MgO в эту систему в количестве до 4–8 % эффективно снижают температуру плавления до 1222 °С. Дальнейшее увеличение содержания MgO приводит к возрастанию температуры течения шлаковой системы. Ввод  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  в систему  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$  ведет к смещению эвтектики к более низким температурам (1085–1270 °С). Ввод фтора в систему также снижает ее температуру течения.

Склонность стали к образованию дефектов в зависимости от содержания углерода приведена в табл. 2.

Этим обусловлены различные требования к свойствам ШОС.

Непрерывно повышающиеся требования к эффективности использования ШОС привели к тому, что их состав связывают с химическим составом разливаемой стали [9–14].

Таблица 1

Влияние содержания компонентов ШОС на ее физические свойства [10]

Компоненты *	Вязкость	Температура	
		затвердевания	плавления
CaO/SiO <sub>2</sub>	↓↓↓	↑↑↑	↑↑
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	↑↑↑	↓↓	зависит от формы
Na <sub>2</sub> O	↓	↓	↓↓
F	↓↓↓	↓	↓
MnO	↓↓	↓↓	↓↓
MgO	↓	↓	↓
BaO	↓	↓↓	↓
Li <sub>2</sub> O	↓↓↓	↓↓	↓↓↓↓
ZrO <sub>2</sub>	↑↑↑	↓↓	↑↑↑

\*Степень влияния: ↓↓↓ – сильная; ↓↓ – средняя; ↓ – слабая.

Таблица 2

Склонность стали к образованию дефектов в зависимости от содержания углерода [13]

Сталь	Виды дефектов			
	Поверхностные трещины	Неметаллические включения и газы	Внутренние трещины	Ликвация
Сверхнизкое содержание углерода	3	1	3	3
Низкое содержание углерода	3	2	3	3
Перитектическое	1	3	2	3
Среднее содержание углерода	2	3	3	3
Высокое содержание углерода	3	3	1	1

Примечание. 1 – очень критическое; 2 – критическое; 3 – некритическое.

Таблица 3

Химический состав и характеристики рекомендованных ШОС

Порядковый номер	Химический состав ШОС, %											Основность, ед.	Температура плавления, °С	Вязкость при 1300 °С, Па·с
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	C <sub>св</sub>					
1	36-39 37,5	34-37 35,2	4,5-5,5 5,0	2,4-3,5 3	4-5,5 4,8	-	< 1,8	6,5-7,5 7,2	1-2 1,5	0,9	1115-1135	0,31-0,37		
2	37-40 38,4	33-36 34,8	3,5-5,5 4,5	3,5-5,5 4,5	4-6 5,0	-	1,5-2,5 2,0	5-7 6,0	1-2 1,5	0,9	1040-1060	0,13-0,17		
3	34-37 35,5	28-32 30	2,3-3,5 2,8	4-5 4,5	7,5-8,5 8,1	-	1-2 1,5	6,5-7,5 7,0	3-4 3,5	0,8	1065-1090	0,20-0,25		
4	28-31 29,5	24-27 25,5	3-5 4,0	7,5-10 8,8	8-10 9,0	0,4-1,5 0,9	2-3 2,5	8,5-12 10,0	4-6 5,0	0,9	1150-1190	0,20-0,28		
5	31,5-39 32,6	33-36 35,9	0,5-1,1 0,8	5-7 6,0	5-7 6,0	< 1,5	1-3 2,0	6-8 7,0	6-7 5,0	1,10	1140-1180	0,23-0,28		
6	26-30 28,0	30-34 32	< 1,2	6-7,5 6,8	5,5-6,5 6,0	< 1,3	1-2,5 1,6	5-6 5,5	4-5 4,5	1,2	1100-1160	0,19-0,22		
7	29-32 30	36-40 38	1,5-2,5 2,0	2,5-3,6 3,1	7,5-8,7 8,2	< 0,7	< 0,9	7,5-9 8,3	2,5-3,5 3,0	1,3	1130-1190	0,05-0,07		
8	31-35 33,0	38-41 39,5	1-2 1,5	3-5 4,0	1,5-4,0 3,0	< 0,5	0,2-1,2 0,7	4,5-6,5 5,5	4-6 5,0	1,2	1150-1190	0,16-0,24		
9	22-25 23,5	28,5-32 30	1-2 1,5	5,5-6,5 6,0	6-7 6,5	< 1,0	1,5-2,5 2,0	6-7 6,5	5,5-6,5 6,0	1,3	1130-1160	0,07-0,09		
10	28-31 29,3	32-36 34	1-2 1,5	5,5-7,5 6,5	5-7 6,0	< 1,1	0,5-2,5 1,5	4-6 5,0	4-6 5,0	1,16	1150-1190	0,16-0,24		
11	34-40 37	33-39 36	4,5-5,5 5,0	6-8 7,0	8-10 9,0	0,4-1,4 0,9	2,1-3,1 2,6	8,5-10,5 9,5	5-7 6,0	0,9	1170-1190	0,30-0,40		
12	32-36 34,0	24-29 26,5	4,5-7,0 5,5	4-6 5,0	7-9 8,0	< 1,0	1-2 1,5	10-12 11	6-8 7,0	0,8	1150-1180	0,16-0,24		

По мнению Д. Экхардта и Д. Бехманна [12], стали разных марок можно разделить на 6 групп в соответствии с содержанием в них углерода и особенностями кристаллизации.

Стали ультранизкоуглеродистые (ULC/IF) и низкоуглеродистые (LC) кристаллизуются с образованием феррита, не склонного к образованию поверхностных трещин непрерывнолитых заготовок. Основным дефектом слитков из таких сталей являются оксидные неметаллические включения, образование большого количества которых связано с высокой окисленностью металла перед раскислением и легированием. Авторы работы [12] при разливке низкоуглеродистой стали рекомендуют ШОС с чрезвычайно высокой теплопроводностью и достаточно высоким содержанием углерода.

Перитектические, среднеуглеродистые (МС) и высокоуглеродистые (НС) стали кристаллизуются по одному типу. Начинается кристаллизация с образования феррита, а затем протекает перитектическое превращение феррита в аустенит с участием незакристаллизовавшейся жидкой фазы. Разница между затвердеванием стали этих трех групп состоит в степени развития перитектической реакции. Она наибольшая при затвердевании перитектической стали и наименьшая при затвердевании стали высокоуглеродистой. Основным дефектом слитков перитектических и среднеуглеродистых сталей, при затвердевании которых перитектическая реакция имеет большое развитие, являются поверхностные трещины. Поэтому основное требование к ШОС, используемым при их разливке, состоит в образовании достаточно толстой шлаковой прослойки между слитком и стенками кристалли-

затора, замедляющей теплопередачу, а следовательно, и скорость перитектического превращения, что уменьшает трещинообразование.

Стали остальных групп, названные авторами работы [10] высокоуглеродистыми (НС) и ультравысокоуглеродистыми (УНС), кристаллизуются или с относительно небольшим развитием реакции перитектического превращения, или сразу с образованием аустенита. Особенностью их затвердевания является довольно широкий интервал относительно низких температур кристаллизации. Основные дефекты слитков такой стали – внутренние трещины и повышенная ликвация, а основное требование к ШОС для их разливки – низкая температура плавления [12].

Для разработки рекомендаций по выбору рациональных составов и характеристик ШОС был проведен анализ производственных данных применения 22 наиболее часто используемых смесей разных производителей, таких как Stollberg, Intocast и др. На основе анализа литературных источников и производственных данных массив из 22 выбранных ШОС был разбит на 12 групп под порядковыми номерами (табл. 3).

С целью выбора рациональных составов ШОС были проанализированы сведения об использовании смесей на криволинейных МНЛЗ в ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ПАО «Северсталь», ПАО «ММК», АО «Уральская Сталь». На основе изучения опыта работы металлургических предприятий и литературных данных [1, 2, 5–21] были разработаны рекомендации по выбору рациональных составов ШОС для разливки разных групп сталей на слябовых криволинейных МНЛЗ, приведенные на рис. 1.



Рис. 1. Выбор рациональной ШОС для слябовых криволинейных МНЛЗ

## Литейное производство

Специалистами ПАО «Уральская Сталь» для оценки эффективности использования ШОС марок Accutherm и Alsiflux (№ 1 и № 2 соответственно) был проведен анализ отсортировки опытных и сравнительных плавов аналогичного марочного состава в кристалли-

затор сечением 190×1200 мм. Химический состав испытываемых ШОС приведен в табл. 4.

Отбраковка металлического проката по дефектам из стали марки 09Г2С представлена в табл. 5 и на рис. 2.

Из представленных в табл. 5 данных сле-

Таблица 4

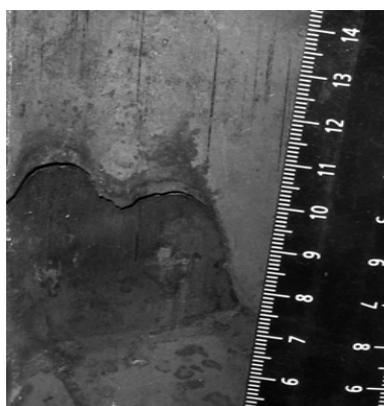
Химический состав испытываемых ШОС

Марка ШОС	Содержание, %								
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/ K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	C <sub>своб</sub>	Влаж- ность, %
Базовая	32,6	35,9	0,8	6,2	6,0	1,9	7,0	5,0	0,5
Опытная № 1	30,1	36,3	1,5	5,7	4,0	1,0	6,0	5,0	0,6
Опытная № 2	31,8	34,9	< 1,1	4,7	6,0	< 0,9	5,2	5,5	0,5

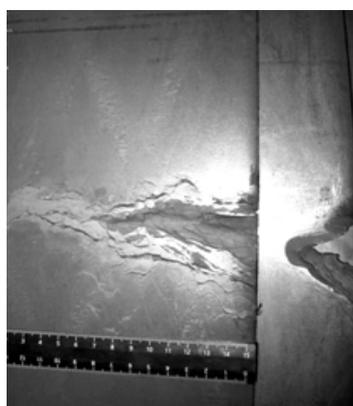
Таблица 5

Отбраковка металлического проката по дефектам из стали марки 09Г2С

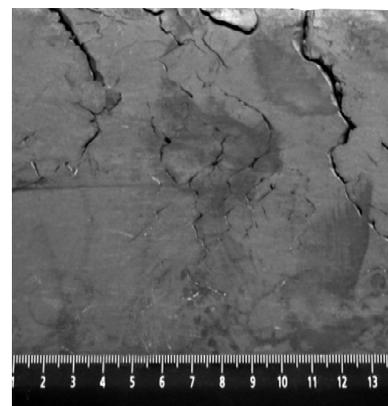
Марки ШОС	Годное, т	Дефекты, %							Итого
		Плена	Тре- щина	Сетч. трещ.	УЗК	Немет. вкл.	Рас- слой		
Базовая	2823	0,90	0,06	0,83	1,63	0,90	0,07	4,39	
Опытная № 1	2567	0,26	0,00	0,29	1,50	0,11	0,06	2,23	
Опытная № 2	486	0,05	0,00	0,07	0,70	0,02	0,00	0,84	



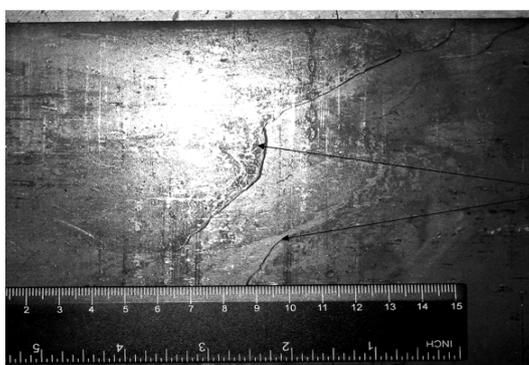
а)



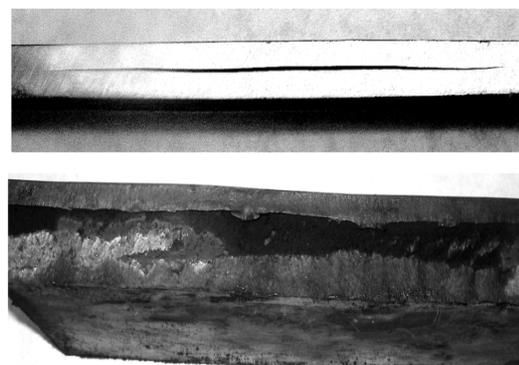
б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Общий вид дефектов на поверхности листового проката [22]:  
а – плена; б – рванина; в – сетчатая трещина; г – трещина; д – расслоение

дует, что для стали марки 09Г2С лучше применять ШОС № 2, так как при ее использовании дефекты проката снизились в большей мере (с 4,39 до 0,84 %).

Проведенные специалистами АО «Уральская Сталь» испытания ШОС различных марок показали, что даже в рамках одной слябовой МНЛЗ рационально применение нескольких ШОС в зависимости от условий разливки.

Таким образом, предложенные рекомендации могут быть полезны при разработке технологических режимов разливки стали на слябовых МНЛЗ данного типа с учетом индивидуальных технических и технологических особенностей условий работы конкретной МНЛЗ.

### Литература

1. Куклев, А.В. Практика непрерывной разливки стали / А.В. Куклев, А.В. Лейтес. – М.: Металлургиздат, 2011. – 432 с.

2. Вдовин, К.Н. Шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали / К.Н. Вдовин, А.А. Ряхов, А.Б. Великий // Теория и технология металлургического производства. – Магнитогорск.: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 9–13.

3. Смирнов, А.Н. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан // Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.

4. Туманов, Д.В. Обзор устройств дозированной подачи порошкообразных и гранулированных материалов в промковши и кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок / Д.В. Туманов, А.Л. Кузьминов // Череповецкие научные чтения – 2014: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (11–12 ноября 2014 г.). Часть 3(2): Естественные, экономические, технические науки и математика / отв. ред. К.А. Харахнин. – Череповец: Изд-во ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», 2015. – С. 166–169.

5. Ганин, Д.Р. Обзор и анализ устройств для подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы машин непрерывного литья заготовок / Д.Р. Ганин, К.В. Лицин, Е.А. Шевченко // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2018. – № 1. – С. 58–65.

6. Ганин, Д.Р. Механизация подачи шлакообразующих смесей в кристаллизатор МНЛЗ-2 АО «Уральская Сталь» / Д.Р. Ганин, А.В. Нефедов, М.И. Мурзич // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2017. – № 1 (8). – С. 34–41.

7. Бровман, М.Я. Непрерывная разливка металлов / М.Я. Бровман. – М.: Экомет, 2007. – 484 с.

8. Лебедев И.В. Повышение ассимилирующей способности шлакового расплава в промежуточном ковше при непрерывной разливке низкоуглеродистых сталей, раскисленных алюминием: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / Лебедев Илья Владимирович. – М.: 2014. – 145 с.

9. Смирнов, А.Н. Анализ поведения ШОС в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ и ее влияние на образование прорывов / А.Н. Смирнов, Е.Н. Максаев, С.В. Куберский // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2012. – Вып. 38. – С. 112–122.

10. Зардеман, Ю. Влияние сталеразливочной смеси на трещинообразование при непрерывной разливке стали на слябы / Ю. Зардеман, Г. Шреве // Черные металлы. – 1991. – № 12. – С. 58–65.

11. Сургаева, Е.В. Работа шлакообразующей смеси в кристаллизаторе при разливке на УНРС коррозионностойких титаносодержащих сталей / Е.В. Сургаева, М.П. Галкин, Г.Н. Еланский // Труды седьмого Конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация. – 2003. – С. 524–528.

12. Hidayat, M. Improvement of surface quality of continuous slab of medium carbon steel / M. Hidayat, D. Sutrandi // SEAIISI Quarterly. – 2004. – Vol. 33, no. 3. – P. 25–31.

13. Экхардт, Д. Выбор шлакообразующих смесей для непрерывной разливки углеродистой стали / Д. Экхардт, Д. Бехманн // Сталь. – 2008. – № 11. – С. 19–22.

14. Филиппов, А.В. Выбор эффективных шлакообразующих смесей для кристаллизаторов высокопроизводительных слябовых МНЛЗ / А.В. Филиппов. – Магнитогорск, 2016. – 136 с.

15. Rasmussen, P. Improvements to steel cleanliness at Dofasco's № 2 Melt Shop / P. Rasmussen // 77th Steelmaking Conf. Proceedings. ISS, Warrendale, PA, 1994. – P. 219–224.

16. Паршин, В.М. Непрерывная разливка стали / В.М. Паршин, Л.В. Буланов. – Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. – 221 с.

17. Хаазе, Р. Шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали / Р. Хаазе // Новые огнеупоры. – 2004. – № 3. – С. 20–22.

18. Многокомпонентные шлакообразующие смеси для непрерывного литья стальных

заготовок / С.А. Суворов, В.В. Козлов, Е.А. Вихров, Н.В. Арбузова // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2016. – № 34 (60). – С. 3–11.

19. Влияние шлакообразующей смеси на качество металлопродукции ОАО «ММК» / Е.П. Лозовский, Д.В. Юречко, Т.С. Масальский и др. // Литейные процессы: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2009. – Вып. 8. – С. 175–180.

20. Исследование влияния состава шлакообразующей смеси на изменение силы трения

в кристаллизаторе и на усвоение углерода сталью / В.П. Ногтев, А.Ф. Сарычев, С.В. Горосткин, Д.В. Юречко // Сталь. – 2002. – № 1. – С. 22–25.

21. К вопросу о выборе состава шлакообразующей смеси для непрерывной разливки стали / В.П. Ногтев, А.Ф. Сарычев, С.В. Горосткин, Д.В. Юречко // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. науч. тр. ЦЛК. – Магнитогорск: Дом печати. – 2001. – С. 90–96.

22. Классификатор поверхностных дефектов листового проката, полученного из непрерывнолитых слябов. – Новотроицк: ОАО «Уральская Сталь», ЦЛК, 2008. – 88 с.

**Шевченко Евгений Александрович**, магистрант, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва; ShevchenkoE.A@yandex.ru.

**Ганин Дмитрий Рудольфович**, ассистент кафедры металлургических технологий и оборудования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал, г. Новотроицк; dmrgan@mail.ru.

**Литсин Константин Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал, г. Новотроицк; k.litsin@rambler.ru.

*Поступила в редакцию 30 июля 2018 г.*

DOI: 10.14529/met180305

## SELECTION OF RATIONAL COMPOSITIONS OF MOULD FLUX FOR SLAB CURVE CONTINUOUS CASTING MACHINE

**E.A. Shevchenko**<sup>1</sup>, ShevchenkoE.A@yandex.ru,

**D.R. Ganin**<sup>2</sup>, dmrgan@mail.ru,

**K.V. Litsin**<sup>2</sup>, k.litsin@rambler.ru

<sup>1</sup> National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation,

<sup>2</sup> National University of Science and Technology “MISIS”, Novotroitsk Branch, Novotroitsk, Russian Federation

There are a great variety of mould fluxes, differing in chemical composition and properties. The thermal work of the crystallizer and the quality of steel continuous castings depends from the correct operation of mould fluxes. The choice of mould flux with optimal properties allows to achieve maximum results in the quality of finished products and largely depends on the correct selection of the chemical composition of the mixture, taking into account the range, productivity and conditions of the enterprise.

The production data of the 22 most commonly used mixtures of different manufacturers, such as Stollberg, Intocast, etc., were analyzed to develop recommendations for selecting rational mould flux formulations. Based on this analysis, the array of selected mixtures was grouped into 12 groups under serial numbers and recommendations have been worked out on the use of slag-forming mix-

tures of a rational composition that can be used to develop technological regimes for pouring different groups of steels onto slab curved machines continuous casting of this type.

For the purpose of selecting rational SCO structures, information on their use on curved slab CCM in PJSC NLMK, PJSC Severstal, PJSC MMK, and Ural Steel JSC was analyzed. Based on the study of the experience of these enterprises and the literature data, as well as recommendations on the selection of rational compositions of the SCO on slab curved caster, which can be used in the development of technological modes of casting steel.

*Keywords: mould flux, crystallizer, slab, continuous casting machine, rational composition, technological regimes, pouring of different groups of steels, curved caster.*

### References

1. Kuklev A.V., Leytes A.V. *Praktika nepreryvnoj razlivki stali* [The Practice of Continuous Casting of Steel]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 2011. 432 p.
2. Vdovin K.N., Ryakhov A.A., Veliky A.B. [Slag-Forming Mixtures for Continuous Casting of Steel]. *Theory and Technology of Metallurgical Production*. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2017, pp. 9–13 (in Russ.)
3. Smirnov A.N. *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous Casting of Steel]. Donetsk, DonNTU Publ., 2011. 482 p.
4. Tumanov D.V., Kuz'minov A.L. [Overview of Devices for Dispensing Powdered and Granular Materials into Tundish and Crystallizers of Continuous Casting Machines]. *Cherepoveckie nauchnye chtenija – 2014: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 11–12 nojabrja 2014 g., Cherepovets* [Cherepovets Scientific Readings – 2014: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (November 11–12, 2014), Cherepovets]. Cherepovets, Cherepovets State University Publ., 2015, pp. 166–169. (in Russ.)
5. Ganin D.R., Licin K.V., Shevchenko E.A. [Overview and Analysis of Devices for the Supply of Slag-Forming Mixtures to the Molds of Continuous Casting Machines]. *Ferrous Metallurgy: Bulletin of the Institute "Chermetinformatsia"*, 2018, no. 1, pp. 58–65. (in Russ.)
6. Ganin D.R., Nefedov A.V., Murzich M.I. [Mechanization of the Supply of Slag-Forming Mixtures to the Casting Machine of CCM-2 JSC "Ural Steel"]. *Mehanicheskoe oborudovanie metalurgicheskikh zavodov*, 2017, no. 1 (8), pp. 34–41. (in Russ.)
7. Brovman M.Ja. *Nepreryvnaya razlivka metallov* [Continuous Casting of Metals]. Moscow, Ecomet Publ., 2007. 484 p. (in Russ.)
8. Lebedev I.V. *Povyshenie assimilirujushhej sposobnosti shlakovogo rasplava v promezhutochnom kovshe pri nepreryvnoj razlivke nizkouglerodistykh stalej, raskislennykh aljumiem: dis. kand. tehn. nauk* [Increase of the Assimilative Capacity of the Slag Melt in the Intermediate Ladle during the Continuous Casting of Low-Carbon Steels, Deoxidized with Aluminum: Cand. Tech. Sci. Diss.]. Moscow, 2016. 145 p.
9. Smirnov A.N., Maksaev E.N., Kuberskij S.V. [Analysis of the Behavior of the SCO in the Crystallizer of Slab CCM and Its Influence on the Formation of Breakthroughs]. *Sbornik nauchnykh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Collection of Scientific Works of Donbass State Technical University]. Donetsk, 2012, pp. 112–122. (in Russ.)
10. Zardeman Ju., Shreve G. [Influence of Steel-Pouring Mixture on Cracking during Continuous Casting of Steel on Slabs]. *Chernye metally*, 1991, no. 12, pp. 58–65. (in Russ.)
11. Surgaeva E.V., Galkin M.P., Elanskij G.N. [The Work of the Slag-Forming Mixture in the Crystallizer during the Casting of Corrosion-Resistant Titanium-Containing Steels on UNRS]. *Trudy sed'mogo Kongressa staleplavil'shnikov* [Proceedings of the Seventh Congress of Steel Makers]. Moscow, Chermetinformatsia, 2003, pp 524–528. (in Russ.)
12. Hidayat M., Sutrandi D. Improvement of Surface Quality of Continuous Slab of Medium Carbon Steel. *SEAFISI Quarterly*, 2004, vol. 33, no. 3, pp. 25–31.
13. Jekhardt D., Behmann D. [Selection of Slag-Forming Mixtures for the Continuous Casting of Carbon Steel]. *Stal'*, 2008, no. 11, pp. 19–22. (in Russ.)
14. Filippov A.V. *Vybor jeffektivnykh shlakobrazujushhih smesej dlja kristallizatorov vysokoproizvoditel'nykh slyabovykh MNLZ* [Selection of Effective Slag-Forming Mixtures for Crystallizers of High-Performance Slab Caster]. Magnitogorsk, 2016. 136 p.

15. Rasmussen P. Improvements to Steel Cleanliness at Dofasco's no. 2 Melt Shop. *77th Steelmaking Conf. Proceedings. ISS*, Warrendale, PA, 1994, pp. 219–224.
16. Parshin V.M., Bulanov L.V. *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous Casting of Steel]. Lipetsk, OAO "NLMK", 2011. 221 p.
17. Haaze R. [Slag-Forming Mixtures for Continuous Casting of Steel]. *Novye ogneupory*, 2004, no. 3, pp. 20–22. (in Russ.)
18. Suvorov S.A., Kozlov V.V., Vihrov E.A., Arbuzova N.V. [Multi-Component Slag-Forming Mixtures for Continuous Casting of Steel Billets]. *Izvestija Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo instituta (tehnicheskogo universiteta)*, 2016, no. 34, pp. 3–11. (in Russ.)
19. Lozovskij E.P., Jurechko D.V., Masal'skij T.S., Filippov A.V., Djul'dina Je.V. [Influence of Slag-Forming Mixture on the Quality of Metal Products of OJSC MMK]. *Litejnye processy: mezhregion. sb. nauch. tr.* [Foundry Processes: Interregional Collection of Scientific Papers]. Magnitogorsk, Nosov Magnitogorsk State Technical University Publ., 2009, pp. 175–180. (in Russ.)
20. Nogtev V.P., Sarychev A.F., Gorostkin S.V., Jurechko D.V. [Investigation of the Influence of the Composition of the Slag-Forming Mixture on the Change in the Frictional Force in the Crystallizer and on the Assimilation of Carbon by Steel]. *Stal'*, 2002, no. 1, pp. 22–25. (in Russ.)
21. Nogtev V.P. [On the Choice of the Composition of the Slag-Forming Mixture for the Continuous Casting of Steel]. *Sovershenstvovanie tehnologii v OAO "MMK": sb. nauch. tr.* [Improvement of Technology in OJSC "MMK": Collection of Scientific Papers]. Magnitogorsk, The Publishing House, 2001, pp. 90–96. (in Russ.)
22. *Klassifikator poverhnostnyh defektov listovogo prokata, poluchennogo iz nepreryvnolityh sljabov* [Classifier of Surface Defects of Sheet Products Obtained from Continuously Cast Slabs]. Novotroitsk, OJSC "Ural Steel", CLC, 2008. 88 p.

*Received 30 July 2018*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шевченко, Е.А. Выбор рациональных составов шлакообразующих смесей для слабовых криволинейных МНЛЗ / Е.А. Шевченко, Д.Р. Ганин, К.В. Лицин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 42–50. DOI: 10.14529/met180305

### FOR CITATION

Shevchenko E.A., Ganin D.R., Litsin K.V. Selection of Rational Compositions of Mould Flux for Slab Curve Continuous Casting Machine. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 42–50. (in Russ.) DOI: 10.14529/met180305

---