А. Р. Арефпур¹, А. Монши¹, А. Сайди¹, Т. Кайамиан²

¹ Факультет материаловедения, филиал Наджаф Абад Исламского университета Азад, г. Исфахан, Иран

² Химический факультет Технологического университета Исфахана, г. Исфахан, Иран

УДК 666.76-492.2:[669.18.046.5:621.746

ВЛИЯНИЕ СаF₂ И MnO НА ВЯЗКОСТЬ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ

Шлакообразующие смеси (ШОС) используются как сырьевые материалы в сталеплавильном производстве. В настоящей работе в составе ШОС применяли TiO₂, Na₂CO₃, MnO и ZnO для снижения содержания CaF₂ или его замены; CaF₂ использовали для получения порошка, подобного промышленному, используемому при разливке стали. Для изучения вязкости образцов ШОС использовали вискозиметр с бороздками (groove viscometer), а для анализа поведения образцов при кристаллизации — методы рентгеновской дифракции XRD и растровой электронной микроскопии SEM. Результаты исследований показали, что на XRD-рентгенограммах некоторых образцов присутствует куспидин. Установлено, что образующиеся в стеклофазе белые кристаллы куспидина позволяют регулировать вязкость ШОС, необходимую для образования смазывающей прослойки между стенками кристаллизатора и оболочкой стального слитка. При использовании в составе ШОС MnO в количестве около 4 мас. % (кроме MnO, входящего в химический состав образца) наряду с F⁻ в количестве около 2 мас. % получен низкофтористый образец ШОС, который может служить заменой образца ШОС, обычно используемого при непрерывной разливке стали.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, шлакообразующие смеси (ШОС), вязкость, кристаллизация.

введение

Более 90 % стали в мире производится с ис-пользованием непрерывной разливки [1, 2]. Шлакообразующие смеси (ШОС) играют важную роль в обеспечении стабильности процесса непрерывной разливки при любой ее скорости, внося вклад в выход и качество произведенной стали [3, 4]. ШОС содержат преимущественно кремнезем, оксиды кальция и алюминия, щелочных и щелочно-земельных металлов, углерод и F⁻ [5-7]. Основные задачи ШОС — образование смазывающей прослойки между стенками кристаллизатора и оболочкой стального слитка и регулирование теплоотвода от слитка к кристаллизатору [8-10]. Разумеется, ШОС выполняют другие функции в процессе непрерывной разливки стали, включая защиту расплавленной стали от окисления, ее теплоизоляцию и поглощение включений [11-13].

Как указано выше, одним из компонентов, составляющих ШОС, является F⁻, который используется для регулирования вязкости, необходимой для смазывания прослойки между стенками кристаллизатора и оболочкой стального слитка, и контроля температуры затвердевания расплава [14]. Фтор F⁻ вводится в составе таких соединений, как CaF₂, в ШОС, которые выделяют SiF₄ и HF [15]. Эти газы, в свою очередь, способствуют коррозии оборудования, используемого при непрерывной разливке, и приносят проблемы, связанные с окружающей средой и здоровьем [14, 15]. Фторид кальция в ШОС образует кристаллическое соединение — куспидин 3CaO·2SiO₂·CaF₂, который обеспечивает образование смазывающей прослойки (управляемой вязкости) и таким образом улучшает условия непрерывной разливки [13-15]. Фторид кальция был использован в этой работе для получения порошка, подобного промышленному. Кроме того, TiO₂, Na₂CO₃, MnO и ZnO были использованы в составе ШОС пля снижения содержания CaF₂ или его замены. Для исследования вязкости образцов был использован вискозиметр с бороздками, были проведены XRD-анализ контрольного образца, расплавленного контрольного образца и образцов 1 и 4, а также SEM-анализ расплавленного контрольного образца и образца 4 для изучения их поведения при кристаллизации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Подготовка образцов

Для изготовления лабораторных образцов был использован контрольный образец — промышленный порошок, используемый при непрерывной разливке стали с высокой скоростью. Химический состав этого порошка (контрольного образца) приведен ниже, мас. %:

$\Delta m_{\rm mpk}$	15-18	MgO	5 - 6
Собщ	7-9	$(Na_2O + K_2O)$	6-8
С _{своб}	4,5-6,5	MnO	4 - 6
SiO_2	28,0-29,5	$\Phi_{TOP} (F^{-})$	3 - 4
Fe_2O_3	1,0-2,5	S^{2-}	<0,3
Al_2O_3	3–5	H ₂ O (120 °C)	<0,8
CaO	26-28		

В соответствии с составом контрольного образца портландцементный клинкер применяли как основной компонент для изготовления лабораторных образцов. Химический состав портландцементного клинкера, мас. %: SiO₂ 21,78, Al₂O₃ 5,41, Fe₂O₃ 3,14, CaO 64,32, MgO 1,89, K₂O 0,73, Na₂O 0,28, SO₃²⁻ 0,01. Портландцементный клин-

Таблица 1. Состав лабораторных образцов, г*							
Образец	MnO	Na ₂ CO ₃	CaF_2	ZnO	TiO ₂		
1	2,97	7,26	4,100	_	_		
2	2,97	8,12	2,050	_	1		
3	2,97	9,83	_	_	2		
4	4,97	7,26	2,050	_	—		
5	5,47	7,26	1,025	_	—		
6	5,97	7,26	7,26 —		—		
7	2,97	9,00	2,050	_	—		
8	2,97	10,00	1,025	_	—		
9	2,97	11,00 —		_	—		
10	2,97	7,26	2,050	2,0	—		
11	2,97	7,26	1,025	2,5	—		
12	2,97	7,26	—	3,0	—		
* В каждом образце содержится 22,82 г портландце- ментного клинкера, 10,64 г SiO ₂ , 2,36 г MgO.							

кер был использован по одной причине: он не содержит никаких сульфатов. Для изготовления образцов были использованы также другие минералы и добавки, такие как SiO₂, MnO, MgO, Na₂CO₃, CaF₂, ZnO и TiO₂.

Цель исследования — изучить влияние таких соединений, как CaF₂, TiO₂, ZnO, Na₂CO₃ и MnO, на вязкость ШОС; с другой стороны, углерод, присутствующий в составе ШОС, не влияет на вязкость ШОС, но весьма эффективен для регулирования скорости плавления в условиях непрерывной разливки стали [16, 17]. В соответствии с этим контрольный образец подвергли обезуглероживанию в течение 24 ч при температуре 580 °С на воздухе для того, чтобы его вязкость можно было бы сравнить с вязкостью лабораторных образцов [18]. Химический состав обезуглероженного контрольного образца приведен ниже, мас. %:

CaO	35,99	К ₂ О	0,199
SiO_2	31,06	Cr_2O_3	0,075
Na_2O	8,78	P_2O_5	0,063
$MnO \ . \ . \ . \ . \ .$	5,95	NiO	0,085
Al_2O_3	5,59	CuO	0,028
MgO	5,58	SrO	0,025
F^{-}	4,50	ZnO	0,022
Fe_2O_3	2,67	Cl^-	0,018
SO_3^{2-}	0,387	ZrO_2	0,012
TiO_2	0,275	$\Delta m_{\rm прк}$	0,63

Принимая во внимание составы контрольного образца, портландцементного клинкера, обезуглероженного контрольного образца и основность контрольного образца (CaO/SiO₂ = 0,94), изготовили 12 порошкообразных образцов массой по 50 г. Состав образцов приведен в табл. 1 (из расчета массы образца 50 г). Химический состав образцов без учета $\Delta m_{прк}$ приведен в табл. 2. Для гомогенизации образцов порошки смешивали в бе-

Таблица 2. Химический состав лабораторных образцов (на прокаленное вещество), %*

Образец	CaO	SiO ₂	Al_2O_3	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F^{-}	ZnO	С	TiO ₂
1	36,52	32,36	2,56	1,48	6,16	5,78	8,94	0,34	4,14	_	1,70	_
2	34,08	32,95	2,61	1,51	6,30	5,90	10,20	0,35	2,11	_	1,94	2,11
3	30,63	32,60	2,58	1,50	6,21	5,82	12,13	0,35	_	_	2,33	4,17
4	33,80	32,70	2,60	1,50	10,41	5,84	9,03	0,34	2,09	_	1,72	—
5	32,76	33,20	2,62	1,52	11,64	5,93	9,17	0,35	1,06	_	1,74	—
6	31,70	33,72	2,67	1,54	12,90	6,02	9,32	0,36	_	_	1,77	—
7	34,37	33,23	2,63	1,52	6,33	5,94	11,33	0,35	2,13	_	2,17	—
8	33,18	33,61	2,66	1,54	6,40	6,00	12,73	0,35	1,08	_	2,43	—
9	31,96	34,00	2,70	1,56	6,50	6,07	14,15	0,36	_	_	2,72	—
10	33,80	32,70	2,60	1,50	6,23	5,84	9,03	0,34	2,09	4,19	1,72	—
11	32,76	33,20	2,62	1,52	6,32	5,93	9,17	0,35	1,06	5,31	1,74	—
12	31,70	33,72	2,67	1,54	6,42	6,02	9,32	0,36	—	6,50	1,77	—
* В каждом образце содержится 0,004 % S.												

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ



Рис. 1. Схематическое изображение определения вязкости расплавленных образцов 1–3 (*a*), 4–6 (б), 7–9 (*в*), 10–12 (*г*) в сравнении с расплавленным контрольным образцом (molten reference sample)

гунах тонкого помола. Порошкообразные образцы загружали в чаши бегунов с этанолом пропорционально массе образцов. Затем порошки перемешивали в бегунах при частоте 600 об/мин в течение 300 с. Гомогенизированные порошкообразные образцы с этанолом помещали в сушилку на 3 ч при 110 °С. Для сравнения вязкости подготовленных порошкообразных образцов с вязкостью контрольного образца 1 г каждого образца прессовали под давлением 3 МПа. Прессованный образец имел диаметр 13 мм и высоту 2 мм и подходил для размещения в бороздках вискозиметра.

Сравнение вязкости образцов

Прессованные лабораторные образцы были установлены на плите вискозиметра с бороздками вместе с прессованным контрольным образцом. Плита была размещена под углом 45° и помещена в печь. Поскольку вискозиметр с бороздками может разрушаться при высоких температурах, печь вначале подогревали до 400 °С, а затем комплект образцов нагревали при этой температуре в течение 30 мин. После этого температура в печи была повышена с 400 до 1150 °С. Все образцы расплавились при 1150 °С. Печь была отключена при этой температуре, образцы охлаждались с печью.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вязкость образцов

Следует отметить, что контрольный образец, как и лабораторные, расплавился при 1150 °C. Этот образец был обозначен как расплавленный контрольный образец, и его вязкость сравнивали с вязкостью лабораторных образцов. Содержание F⁻ в контрольном образце составляет 3-4 мас. %, что эквивалентно 6-8 мас. % CaF₂. Образец 1 (рис. 1, *a*), содержащий 4,14 мас. % F⁻ (8,2 г фтора) и 8,94 мас. % Na₂O (без TiO₂), имеет вязкость, очень близкую к вязкости расплавленного контрольного образца. Таким образом, добавка фтора способна регулировать вязкость ШОС. Образец 2 (см. рис. 1, *a*), содержащий 2,11 мас. % F⁻, 10,20 мас. % Na₂O и 2,11 мас. % ТiO₂, обладает меньшей вязкостью, чем расплавленный контрольный образец, и, кроме того, сильно растекается по плите вискозиметра. Можно предположить, что при его использовании вместо контрольного образца создать оптимальную прослойку между оболочкой стального слитка и стенками кристаллизатора не удастся. Образец 3 (см. рис. 1, *a*) без F⁻, содержащий 4,17 мас. % TiO₂ и 12,13 мас. % Na₂O, отличается очень высокой вязкостью в сравнении с вязкостью расплавленного контрольного образца и очень низкой смазывающей способностью. При сопоставлении расплавленного контрольного образца с тремя лабораторными 1–3 видно, что введение в состав ШОС 4,17 мас. % TiO₂ и 12,13 мас. % Na₂O вместо F⁻ привело к уменьшению влияния в ШОС корректирующих и смазывающих факторов. Взаимосвязанное влияние таких оксидов, как TiO₂ и Na₂O, в образце 3 обусловило образование стеклофазы и в результате этого повышение вязкости.

Образец 4 (рис. 1, б) содержал 10,41 мас. % MnO и 2,09 мас. % F⁻. В этот образец с 4,18 мас. % MnO ввели дополнительно 6,23 мас. % MnO для определения влияния добавки на вязкость и смазывающую способность. Вязкость образца 4 оказалась примерно такой же, как у расплавленного контрольного образца. Другими словами, в образце 4 за счет снижения содержания F⁻ примерно на 52,0-69,5 мас. % получена вязкость, аналогичная вязкости расплавленного контрольного образца. Образец 5 содержал 11,64 мас. % MnO и 1,06 мас. % F⁻. В этот образец с 6,32 мас. % MnO ввели дополнительно 5,32 мас. % MnO. Вязкость при этом увеличилась, смесь не стала текучей и подобной расплавленному контрольному образцу. В образце 6 без F⁻, содержащем 12,90 мас. % MnO, не наблюдали значительной смазывающей способности даже при полном отсутствии фтора в его составе и введении добавки MnO — фактически в образец 6 с 6,42 мас. % MnO было добавлено 6,48 мас. % MnO. При этом наблюдалась не только повышенная вязкость образца 6, но и высокая энергия поверхности, позволяющая образцу принимать сферическую форму без растекаемости. Следовательно, увеличение содержания добавки MnO от 6,48 до 12,90 мас. % снижает вязкость ШОС, однако введение более 14 мас. % MnO увеличивает ее.

В образцах 7-9 (рис. 1, в) оценивали влияние Na₂CO₃ на состав ШОС. Образец 7 содержал 11,33 мас. % Na₂O (9 г Na₂CO₃), в образце 8 количество Na₂CO₃ увеличилось с 9 до 10 г, а количество CaF₂ идентично 2,05 г и, наконец, в образце 9 был полностью удален CaF₂ и количество Na₂CO₃ увеличилось с 10 до 11 г. Как видно из рис. 1, в, смазывающая способность всех трех образцов значительно увеличилась по сравнению с расплавленным контрольным образцом. Такие соединения, как Na₂O, приводят к снижению вязкости и увеличению смазывающей способности через разрыв связей силикатной сетки (структуры) [19]. Перелив расплавленных материалов всех трех образцов через бороздки вискозиметра обусловлен избыточной смазывающей способностью. По-видимому, увеличение количества добавки Na₂CO₃ в образцах 7–9 способствовало избыточной смазывающей способности, превышающей стандартный уровень, в сравнении с расплавленным контрольным образцом. Таким образом, использование Na₂CO₃ в больших количествах вместо CaF₂ в химическом составе ШОС не привело к желаемым результатам.

В образцах 10-12 (см. рис. 1, г) ZnO в составе ШОС использовали вместо F⁻; в образце 10 содержалось 2,09 мас. % F⁻ и 4,19 мас. % ZnO, в образце 11 1,06 мас. % F⁻ и 5,31 мас. % ZnO, в образце 12, из состава которого удален F⁻, взамен использовали 6,50 мас. % ZnO. Как видно из рис. 1, г, вязкость всех трех образцов существенно увеличилась. Другими словами, с ростом содержания ZnO от 4,19 до 5,31 мас. % и от 5,31 до 6,50 мас. % растекаемости этих трех образцов не происходило. Таким образом, в состав образцов 10-12 необходимо вводить или менее 4 мас. %, или более 6,5 мас. % ZnO, чтобы определить фактическое влияние ZnO на вязкость ШОС. Этот вопрос, однако, требует дальнейшего изучения. При рассмотрении вязкости всех 12 образцов относительно вязкости расплавленного контрольного образца пришли к заключению, что похожую вязкость имели образцы 1 и 4.

Кристаллизация образцов

Исследование кристаллизации расплавленного контрольного образца, а также образцов 1 и 4 проводили с применением рентгеноструктурного XRD-анализа контрольного образца, XRD- и SEMанализов расплавленного контрольного образца, XRD-анализа образца 1, XRD- и SEM-анализов образца 4. XRD-анализ контрольного образца (рис. 2) показал присутствие волластонита CaSiO₃, SiO₂, Na₂CO₃, CaF₂, Al₂O₃, MnSiO₃, CaMg(SiO₃)₂ и CaAl₂O₄; волластонит — преобладающая фаза в этом образце. Рассматривая состав портландцементного клинкера и химический состав волластонита контрольного образца, можно прийти к выводу, что портландцементный клинкер является подходящим компонентом для изготовления лабораторных образцов. Это связано с тем, что около 88 мас. % его химического состава включают CaO и SiO₂, которые являются основой состава волластонита в контрольном образце. После расплавления контрольного образца волластонит, как преобладающая фаза, расплавлялся наряду с другими материалами; во время затвердевания в расплаве были получены и идентифицированы XRD-анализом такие фазы, как окерманит, геленит, куспидин, нефелин и Mn₃O₄. На рис. 3 показаны результаты XRD-анализа расплавленного контрольного образца.

Микрофотографии расплавленного контрольного образца (рис. 4) показывают присутствие в



Рис. 2. Рентгенограмма контрольного образца: ▲ — волластонит CaSiO₃; ■ — SiO₂; ◆ — флюорит CaF₂; ▼ — Al₂O₃; ● — MnSiO₃; □ — Na₂CO₃; ⊕ — CaMg(SiO₃)₂; ◇ — CaAl₂O₄



Рис. 3. Рентгенограмма расплавленного контрольного образца: ▲ — геленит Ca₂Al₂SiO₇; ■ — куспидин Ca₄F₂Si₂O₇; ● — нефелин NaAlSiO₄; ◆ — окерманит Ca₂MgSi₂O₇; △ — Mn₃O₄

нем стеклофазы. Кристаллы в стеклофазе этого образца сформировались при затвердевании, обусловленном насыщением стекла кремнеземом. Можно предположить, что это свойство ШОС при



Рис. 5. Рентгенограммы образцов 1 (*a*) и 4 (б): \blacktriangle — геленит Ca₂Al₂SiO₇; \blacksquare — куспидин Ca₄F₂Si₂O₇; \bullet — нефелин NaAlSiO₄; \blacklozenge — окерманит Ca₂MgSi₂O₇; O — Ca₃SiO₅; \bigtriangleup — Mn₃O₄

непрерывной разливке стали приводит к регулируемой вязкости. Образец 1, который имел вязкость, близкую к вязкости расплавленного контрольного образца, в большом количестве содержал куспидин 3CaO·CaF₂·2SiO₂; наблюдались также другие фазы, такие как геленит, нефелин, окерманит и Mn₃O₄ (рис. 5, *a*). XRD-анализ образца 1 показал, что он имеет примерно такой же состав, что и расплавленный контрольный образец, поскольку главной доминирующей фазой в образ-



Рис. 4. SEM-микрофотография расплавленного контрольного образца: *a* — ×3000; *б* — ×9000



Рис. 6. SEM-микрофотографии образца 4: *a* — ×3000; *б* — ×9000

це 1 был куспидин. В этом случае образование куспидина также приводит к регулируемой вязкости.

Подобным образом образец 4, имеющий такую же вязкость, как и расплавленный контрольный образец, содержал геленит, куспидин и окерманит, а также другие фазы — Ca₃SiO₅ и Mn₃O₄. Рентгенограммы образцов 4 и расплавленного контрольного очень похожи. При введении добавки MnO в образец 4 наблюдали образование кристаллической фазы Mn₃O₄, которая может способствовать возникновению желаемой кристаллизующейся прослойки наряду с куспидином и регулированию вязкости ШОС. На рис. 5, б показана рентгенограмма образца 4. SEM-микрофотографии образца 4 (рис. 6) показывают, что в его стеклофазе образовались белые кристаллы, которые обеспечивают регулирование вязкости образца 4, желаемую смазывающую способность и создание оптимальных условий разливки стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

40

1. Портландцементный клинкер наряду с CaF₂ в образце 1 обеспечил вязкость, сопоставимую с вязкостью расплавленного контрольного образца, что было установлено на вискозиметре с бороздками.

2. При проведении XRD-анализа образцов 1 и 4 установлено, что куспидин был преобладающей фазой подобно расплавленному контрольному образцу. С другой стороны, куспидин — кристаллическое соединение, обеспечивающее контролируемую вязкость ШОС и оптимальные условия разливки стали.

3. Изучение SEM-изображений образца 4 показало, что в стеклофазе образовались белые кристаллы, обеспечивающие регулирование вязкости образца 4, достижение желаемой смазывающей способности и создание оптимальных условий разливки стали.

4. Использование MnO в количестве 4 мас. %, кроме содержащегося в химическом составе образца 4 MnO наряду с F⁻ в количестве до 2 мас. %, обеспечивает получение образца с низким количеством фтора, который может послужить заменой контрольного образца ШОС, применяемого при непрерывной разливке стали.

5. По мере снижения содержания фтора и увеличения содержания MnO более 4 мас. % энергия расплавленной поверхности будет расти, и ШОС не будет играть роль смазки.

6. Такие оксиды, как Na₂O из Na₂CO₃, способствуют интенсивному образованию стеклофазы, поэтому следует избегать их введении в состав ШОС вместо фтора.

Библиографический список

1. *Turkdogan, E. T.* Fundamentals of steelmaking / *E. T. Turkdogan.* — Cambridge : The University Press, 1996. — P. 138–179.

2. *Mueller, M.* Structural dependence of alkali oxide activity in coal ash slage / *M. Mueller, W. Willenborg, K. Hilpert, L. Singheiser //* VII International Conference on molten slage, fluxes and salts, The South African Institute of Minig and Metallurgy, 2004.

3. *Nakamoto, M.* A Model for Estimation of Molten Silicate Slag / *M. Nakamoto, J. Lee, T. Tanaka* // ISIJ International. — 2005. — Vol. 45, № 5. — P. 651–656.

4. *Sridhar, S.* Estimation Models for Molten Slag and Alloy Viscosities / *S. Sridhar.* // JOM. - 2005. - P. 46-48.

5. *Brooks, R. F.* The measurement of viscosity of alloys — a review of methods, data and models / *R. F. Brooks*,

A. T. Dinsdale, P. N. Quested // Meas. Sci. Technol. — 2005. — Vol. 16. — P. 354–362.

6. *Shu, Q.* Viscosity Estimation for Slags Containing Clacium Fluoride / *Q. Shu, J. Zhang //* Journal of University of Science and Technology Beijing. — 2005. — Vol. 12. — P. 221.

7. *Riboud, P. V.* Fundamental study of the behavior of casting powders / *P. V. Riboud, M. Larrecq //* ISIJ International. – 1996. – Vol. 36. – P. 522–525.

8. **Orrling, C.** Observations of the melting and solidification behavior of mold slags / *C. Orrling, A. W. Cramb, A. Tilliander* [et al.] // Iron and Ssteelmaker. -2000. - Vol. 27, \mathbb{N} 1. $-\mathbb{P}$. 53–63.

9. *Feldbauer, S.* Physical properties of mold slags that are relevant to clean steel manufacture / *S. Feldbauer, I. Jimbo, A. Sharan, Y. Kashiwaya* // Proceedings 78th Steelmaking Conference, Nashville, Iron & Steel Society, 1995. — P. 655–667.

10. *Mills, K. C.* Mould flux behavior in continuous casting / *K. C. Mills, S. Sridhar, A. S. Normanton* [et al.] // The Brimacombe Memorial Symposium, 2000. — P. 781–794.

11. **Riboud, P. V.** Improvement of Continuous Casting Powders / P. V. Riboud, Y. Roux, L. D. Lucas [et al.] // Fachber. Hüttenprax. Metallweiterverarb. — 1981. — Vol. 19. — P. 859.

12. **Urbain, G.** Viscosity of Silicate Melts / G. Urbain, F. Cambier, M. Deletter, M. R. Anseau // Transaction and Journal of British Ceramics Society. — 1981. — Vol. 80. — P. 139.

13. *Turkdogan, E. T.* Physicochemical Properties of Molten Slags and Glasses / *E. T. Turkdogan.* — The Metals Society, 1983. — P. 11.

14. **Seetgraman, S.** Estimation of Viscosities of Ternary Silicate Melts using the Excess Gibbs Energy of Mixing / *S. Seetgraman, D. Sichen, F. Z. Ji* // Metallurgical and Materials Transaction. - 2000. - Vol. 31B. - P. 105.

15. *Zhang, L.* Review and Modeling of Viscosity of Silicate Melts : Part I. Viscosity of Binary and Ternary Silicates Containing CaO, MgO and MnO / *L. Zhang, S. Jahanshahi //* Metallurgical and Materials Transactions. — 1998. — Vol. 29B, Issue.1. — P. 177.

16. *Koul, M. K.* Mould powder Technology / *M. K. Koul, S. Sankaranarayanan, D. Apelian, W. L. McCauley //* Press of Northeast University of Technology, 1988. — P. 2–14.

17. **Pat. No. US00641402B1 United States**, Molding powder for continuous casting of steel and a method for continuous casting of steel / Morita A., Omoto T., Iwamoto Y., 2002.

18. **En-fa**, **W.** Effect of carbon properties on melting Behavior of mold fluxes for continuous casting of steels / *W. En-fa*, *Y. Yin-dong*, *F. Chang-lin* [et al.] // Journal of Iron and Steel Research International. — 2006. — Vol. 13, N_{2} 2. — P. 22–26.

19. **Wen, G.** Development of Fluoride-free Mold Powders for Peritectic Steel Slab Casting / *G. Wen, S. Sridhar, P. Tang* [et al.] // ISIJ International. — 2007. — Vol. 47. — P. 1117–1125. ■

Получено 21.02.12 © А. Р. Арефпур, А. Монши, А. Сайди, Т. Кайамиан, 2013 г. © Пер. — **И. Г. Очагова** (ОАО «Черметинформация»), 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



V международная конференция

26-29 ноября 2013 г. Москва, ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН»

«Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»

На конференции планируется обсудить и обобщить весь спектр результатов исследований в области прочности, деформации и разрушения материалов и наноматериалов. В рамках проведения конференции будут проведены семинары и выставка, знакомящие участников и гостей конференции с новейшими образцами оборудования для исследования структуры, процессов деформации и разрушения материалов и наноматериалов. К открытию конференции будет выпущен сборник трудов.

Контакты: Сайт конференции: http://www.dfmn.imetran.ru E-mail: dfmn@imetran.ru Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, 49