

## Исследование состава отложений неметаллических включений, образовавшихся при зарастании погружного стакана в условиях ККЦ ОАО «ДМКД»

Изучен состав отложений, образовавшихся на внутренней поверхности погружного стакана во время непрерывной разливки стали в условиях ККЦ ОАО «ДМКД». Показано, что основными неметаллическими включениями, откладывающимися на стенке погружного стакана, являются глиноземные включения типа  $Al_2O_3$ , которые находятся в матрице, содержащей алюминий, кремний, кальций, марганец и калий. Ориентировочная стехиометрия этой матрицы –  $0,9CaO \times 2,2SiO_2 \times 1,4Al_2O_3 \times 0,6MnO$ . Для устранения проблемы зарастания необходимо выполнить известные рекомендации по модифицированию алюминийсодержащих включений кальцием и по количественному снижению содержания оксидов алюминия в стали.

**Ключевые слова:** непрерывная разливка стали, погружной стакан, растровая электронная микроскопия, морфология неметаллических включений

Отложение неметаллических включений на стенках каналов стаканов и шибберных затворов при непрерывной разливке стали сужает проходные отверстия, что уменьшает расход металла. На многих предприятиях это снижает производительность и приводит к большим потерям, как материальным, так и временным. Наиболее эффективным способом предупреждения зарастания стаканов является ввод в расплав модификаторов, способствующих трансформации неметаллических включений в комплексные соединения, которые остаются в жидком состоянии при температурах разливки стали.

Состав отложений, образовавшихся на погружном стакане во время разливки стали, изучили в условиях ККЦ ОАО «ДМКД». В качестве образца был представлен случайно отобранный фрагмент донной части погружного стакана с характерными отложениями, застывшими на нем во время разливки.

На изготовленный поперечный шлиф нанесли токопроводящий слой золота. Образец исследовали методом растровой электронной микроскопии с применением микрорентгеноспектрального анализа на микроскопе JSM-T300 с энергодисперсионной приставкой Link 860-500.

Во время предварительного осмотра на шлифе обнаружили оплавленный прозрачный материал темно-зеленого цвета, находящийся непосредственно между самой стенкой стакана и отложениями. В результате исследования было отмечено следующее:

1. Материал погружного стакана –  $SiO_2$  (табл. 1). У самой границы 1 внутренней стенки стакана (рис. 1) выявлено незначительное содержание (%) таких элементов, помимо кремния, как Fe (до 0,7), Mn (до 0,1) и Ca (до 0,2).

2. Прозрачный темный материал (в некотором

роде хрупкая «прослойка» между «телом» погружного стакана и отложениями неметаллических включений) – однофазный с редко встречающимися корольками металла (рис. 1-3). В состав материала (табл. 1) входят такие элементы, как Al ~ 9,5 % (6,2...11,7 %мас.), Si ~ 20,2 % (18,2...23,6 %мас.), Ca ~ 22,3 % (21,3...22,9 %мас.), Mn ~ 3,4 % (3,1...3,6 %мас.), K ~ 1,6 % (1,3... 2,2 %мас). Стехиометрия этого материала ориентировочно следующая:  $1,7CaO \times 2,1SiO_2 \times 1,2Al_2O_3 \times 0,2MnO$ . Причиной образования такой «прослойки» могли быть начальные размывание и оплавление стенки погружного стакана при первичном контакте со сталью (в определенной степени, «гарнисаж») – присутствие

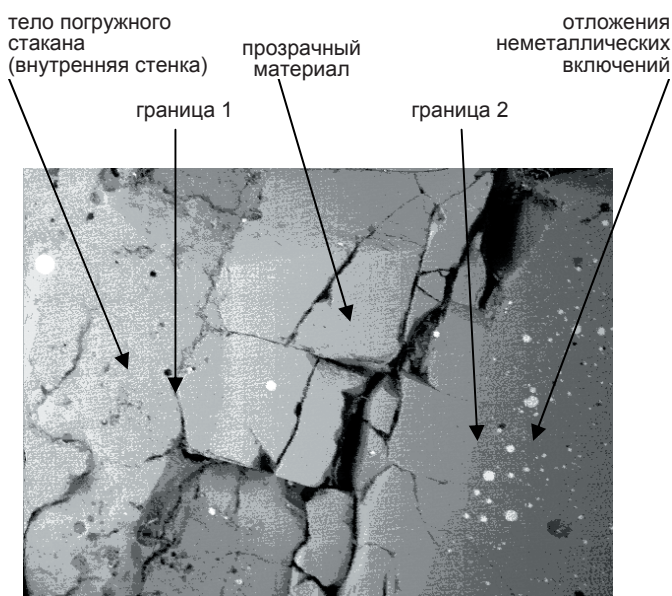


Рис. 1. Морфология фрагмента внутренней стенки погружного стакана с остатками отложений неметаллических включений, образовавшихся при разливке стали: шлиф, РЭМ, контраст в отраженных электронах,  $\times 35$

Химический (по результатам микрорентгеноспектрального анализа) и ориентировочный (расчетный) стехиометрические составы фаз, входящих в состав отложений неметаллических включений, образовавшихся при зарастании погружного стакана по ходу непрерывной разливки стали

Место нахождения фазы	Внешний вид	Химический состав*, %мас.						Ориентировочный стехиометрический состав
		Al	Si	Ca	Mn	K	Fe	
Тело погружного стакана (середина)	Серая фаза с границами частиц	–	46,5	–	–	–	–	SiO <sub>2</sub>
Тело погружного стакана (у поверхности внутренней стенки)	Серая фаза с границами частиц	–	45,9	0,2	0,1	–	0,7	SiO <sub>2</sub>
«Прослойка» между внутренней стенкой погружного стакана и отложениями неметаллических включений	Прозрачная темная однородная фаза с единичными мелкими корольками металла	$\frac{6,2...11,6}{9,5}$	$\frac{18,2...23,6}{20,2}$	$\frac{21,3...22,9}{22,3}$	$\frac{3,1...3,6}{3,4}$	$\frac{1,3...2,2}{1,6}$	$\frac{0,2...0,7}{0,5}$	1,7CaO × 2,1SiO <sub>2</sub> × 1,2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> × 0,2MnO
Отложения неметаллических включений на стенке погружного стакана, образовавшиеся при разливке стали	Светлая фаза 1	$\frac{10,8...12,6}{11,9}$	$\frac{20,2...23,1}{21,2}$	$\frac{7,5...11,8}{10,3}$	$\frac{10,1...12,5}{11,2}$	$\frac{1,3...1,9}{1,6}$	$\frac{0,2...1,1}{0,7}$	0,9CaO × 2,2SiO <sub>2</sub> × 1,4Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> × 0,6MnO
	Темная фаза	51,2	0,9	0,3	0,3	–	0,2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Корольки металла	0,05	0,8	–	1,9	–	97,0	Типа Г2С

\* в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее

SiO<sub>2</sub> с наличием некоторого количества отложений неметаллических включений CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MnO.

3. Отложения неметаллических включений, образовавшиеся при зарастании погружного стакана, представлены тремя основными фазами (рис. 1, 3, 4):

– светлая матрица (фаза 1) (рис. 3, 4) по своему составу качественно близка к составу прозрачной «прослойки» (табл. 1). Однако по количественному составу есть некоторые отличия: почти в 2 раза снижается содержание кальция, а марганца увеличивается более чем в 3 раза. При этом Al в фазе 1 ~ 11,9 % (10,8...12,6 %мас.), Si ~ 21,2 % (20,2...23,1 %мас.), Ca ~ 10,3 % (7,5... 11,8 %мас.), Mn ~ 11,2 % (10,1...12,5 %мас.), K ~ 1,6 % (1,3... 1,9 %мас.). Стехиометрия фазы 1 ориентировочно следующая: 0,9CaO × 2,2SiO<sub>2</sub> × 1,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> × 0,6MnO;

– темная фаза в виде включений (рис. 3, 4), содержащих Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Именно отложение этих включений, согласно литературным данным [1], и является основной причиной зарастания погружного стакана. Необходимо отметить, что при этом они достаточно чистые (без кальция);

– корольки металла в виде глобулярных включений белого цвета (рис. 3, 4). Состав корольков позволяет предположить, что зарастание погружного стакана произошло при разливке стали типа Г2С. Определить содержание углерода в корольках не представляется возможным из-за технических возможностей прибора (идентификация и определение элементов, начиная с натрия).

4. После получения результатов микрорентгено-

спектрального анализа (табл. 1) и ориентировочных усредненных данных по составам шлака в стальковше и укрывных смесей промежуточного ковша (данные ОАО «ДМКД», табл. 2) необходимо отметить следующее:

– наличие (в %) Ca (22,3), Mn (3,4), Al (9,5), Si (20,2) и K (1,6) в составе «прослойки» между внутренней стенкой погружного стакана и отложениями неметаллических включений обусловлено намораживанием на стенки погружного стакана укрывной смеси промежуточного ковша и, возможно, частично попадающего в промковш шлака из стальковша. Завышенное содержание кремния обусловлено, скорее всего, диффузионными процессами этого элемента из тела стакана в «прослойку».

Остался невыясненным вопрос отсутствия магния в составе «прослойки» и светлой фазы, а также довольно высокое содержание марганца в фазе 1 (возможно, за счет диффузии при разливке стали с повышенным содержанием марганца).

После проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Основными неметаллическими включениями, откладывающимися на стенке погружного стакана при разливке металла, являются глиноземные включения типа Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которые находятся в матрице в виде представленной фазы, содержащей (%мас.) Al ~ 11,9, Si ~ 21,2, Ca ~ 10,3, Mn ~ 11,2 и K ~ 1,6. Ориентировочная стехиометрия этой фазы – 0,9CaO × 2,2SiO<sub>2</sub> × 1,4Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> × 0,6MnO.

2. Между внутренней стенкой погружного стака-

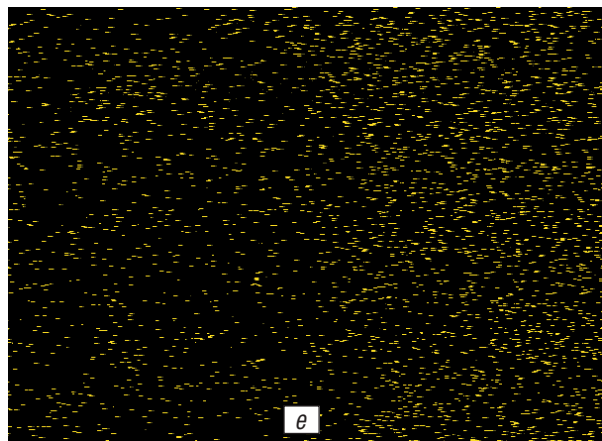
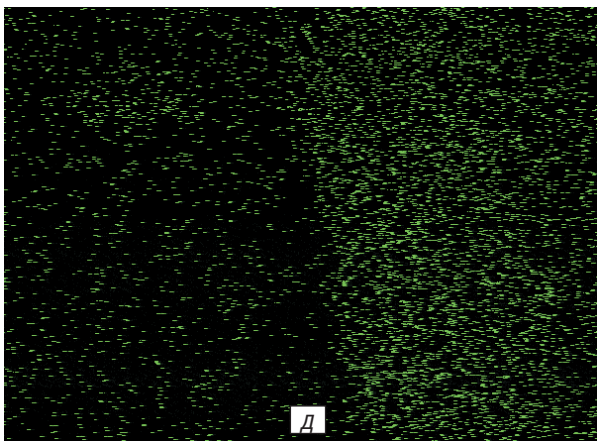
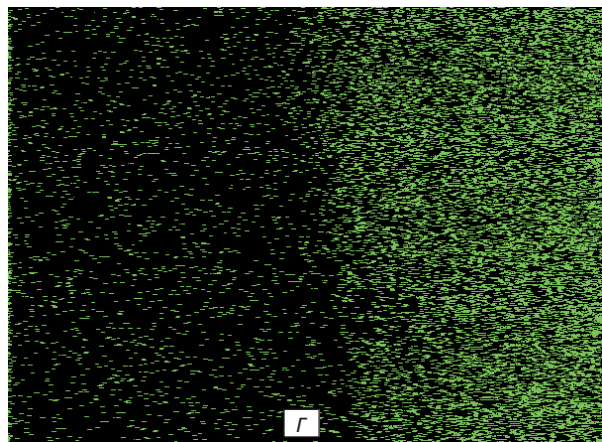
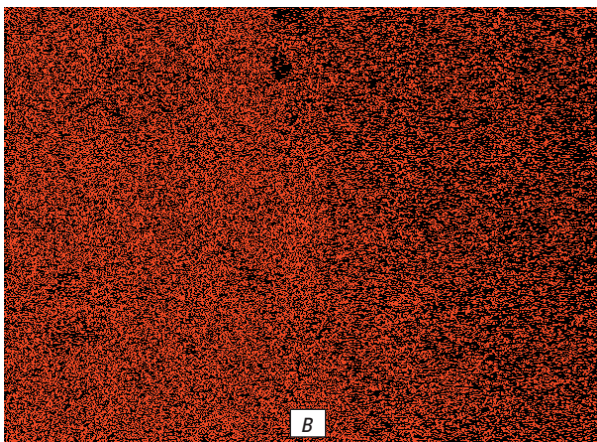
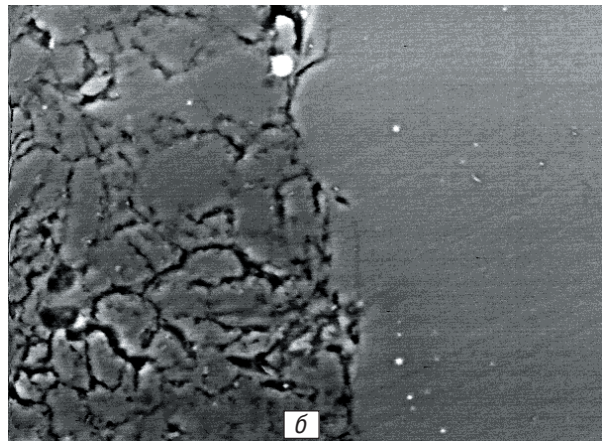
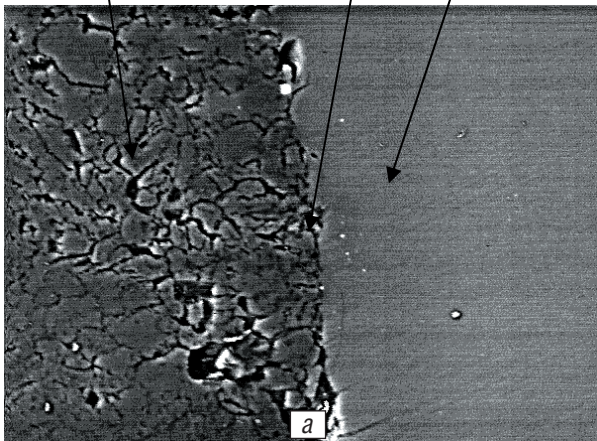
Таблица 2\*

на и отложениями неметаллических включений, образовавшимися при разливке, отмечено наличие однофазной хрупкой «прослойки» с одиночными корольками металла. В ее составе (%мас.): Al ~ 9,5; Si ~ 20,2; Ca ~ 22,3; Mn ~ 3,4 и K ~ 1,6. Ориентировочная стехиометрия этой фазы – 1,7CaO × 2,1SiO<sub>2</sub> × 1,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> × 0,2MnO. Причиной

	Массовая доля элементов, %						
	Al	Si	Ca	Mn	Fe	K + Na	Mg
Ковшевой шлак	5,3	12,9	25,8	3,4	2,2	–	7,7
ТИС-3К	11,5	18,9	1,0	–	32,0	1,0	1,0
ТИС-2	1,0	17,2	6,5	–	45,0	1,4	3,5

\* массовую долю элементов рассчитывали исходя из компонентного состава шлака и смеси, а также стехиометрии каждого из компонентов

тело погружного стакана      граница 1      прозрачный материал



**Рис. 2.** Морфология у границы 1 фрагмента внутренней стенки погружного стакана с прозрачной «прослойкой»: шлиф, РЭМ, контраст в отраженных электронах (а, б), характеристическом излучении SiKa (в), CaKa (г), AlKa (д), MnKa (е),  $\times 500$  (а),  $\times 1000$  (б-е).

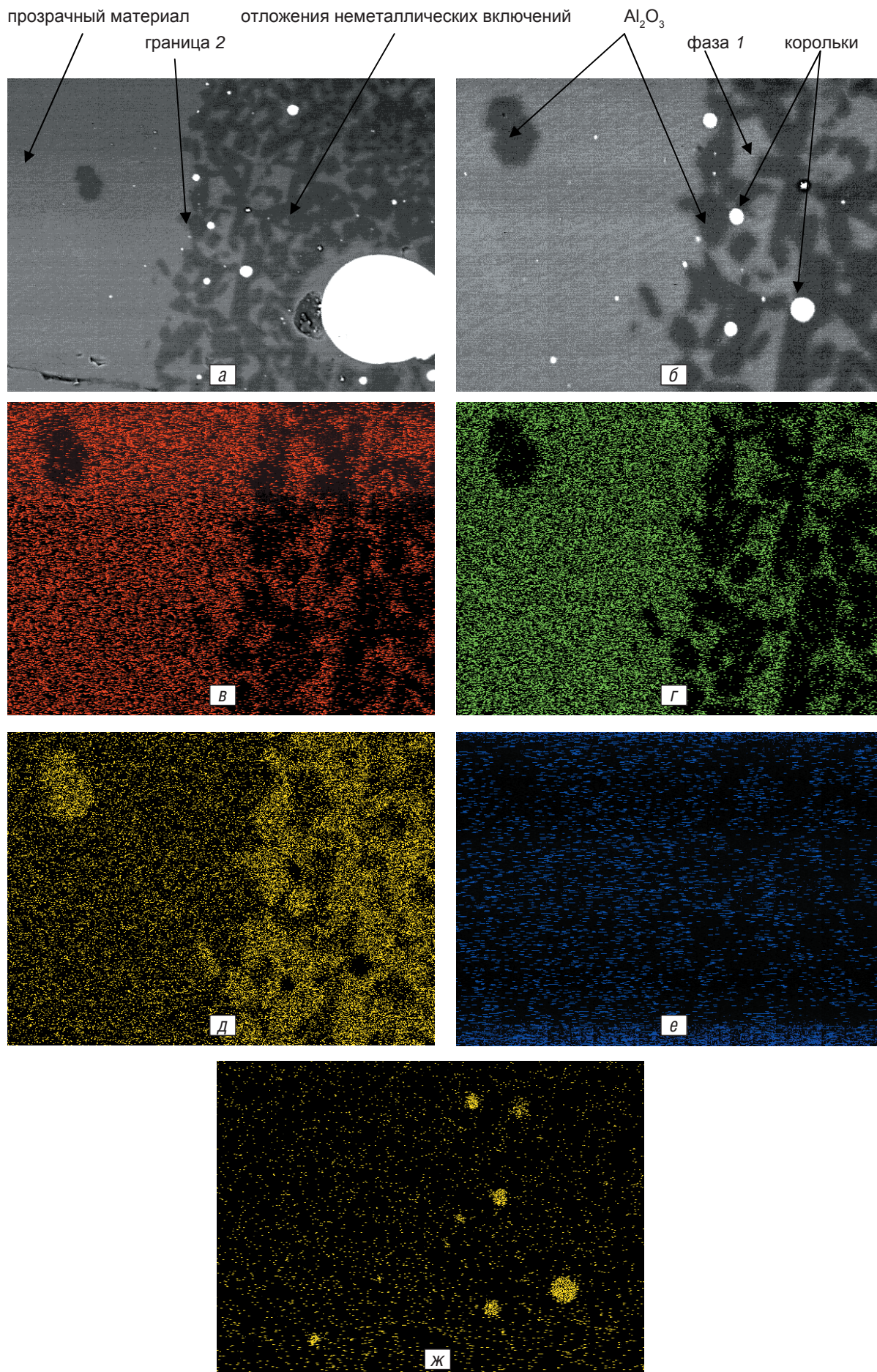
образования такой «прослойки» могло быть начальное оплавление стенки стакана в начале разливки и намораживание на стенки погружного стакана укрупненной смеси промежуточного ковша и, возможно, частично попадающего в промковш шлака из стальной ковша.

3. Остался невыясненным вопрос отсутствия магния в «прослойке» и фазе 1, а также достаточно высокое содержание марганца в фазе 1 (возможно, за счет диффузии при разливке стали с повышенным содержанием марганца).

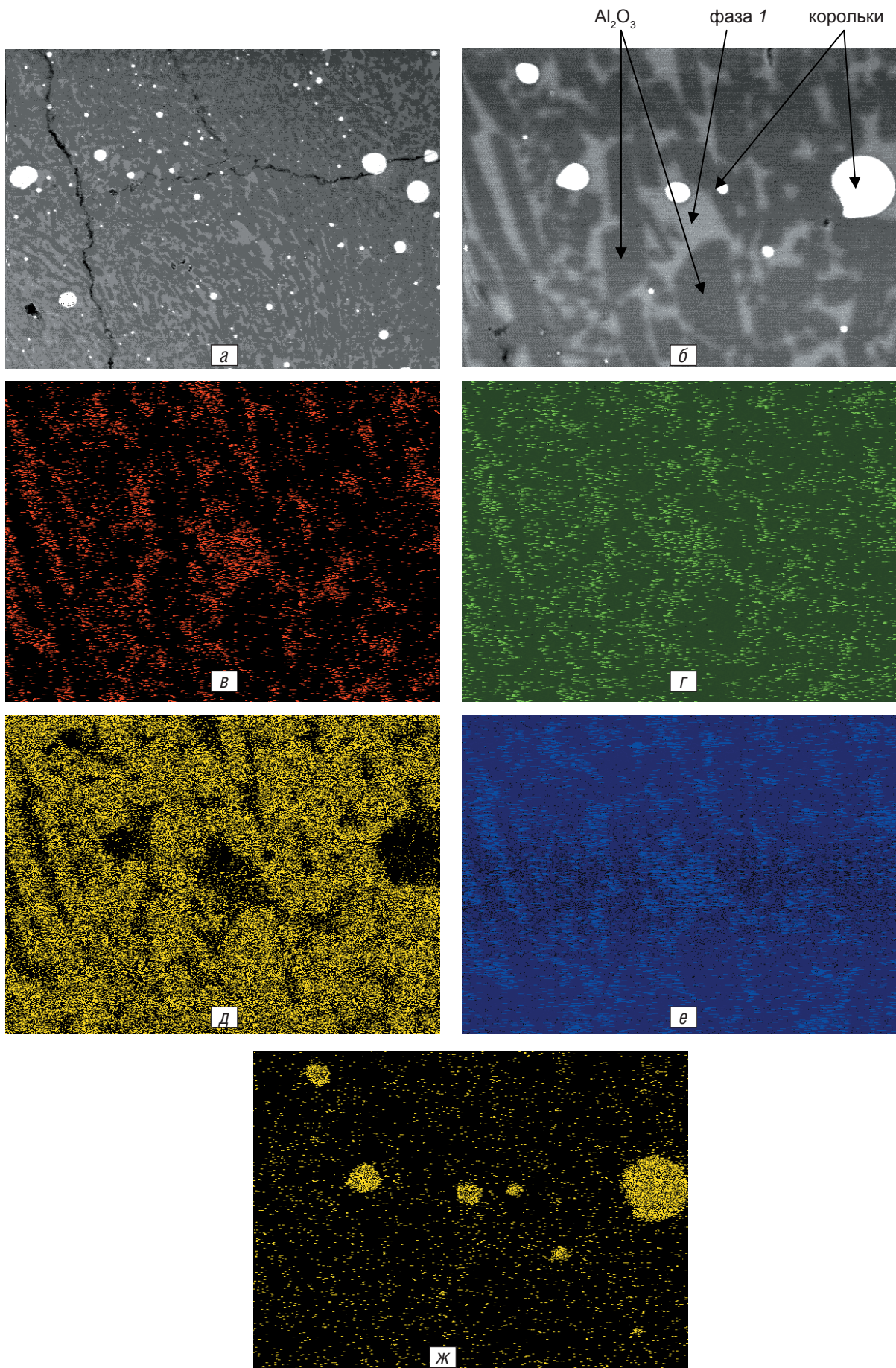
4. Устранить проблему зарастания погружного стакана можно, выполнив стандартные и известные рекомендации:

- модифицировать алюминийсодержащие включения кальцием (с целью снижения их температуры плавления) [1];

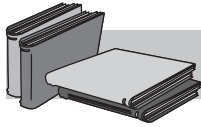
- снижать содержание оксидов алюминия в стали (снимать переокисленность стали другими раскислителями, например, углеродсодержащими материалами типа МУФ марки П5, П4-1, карбидом кремния, карбидом кальция) [2].



**Рис. 3.** Морфология у границы 2 фрагмента прозрачной «прослойки» с отложениями неметаллических включений, образовавшимися при зарастании погружного стакана по ходу непрерывной разливки стали: шлиф, РЭМ, контраст в отраженных электронах (а, б), характеристическом излучении Sika (в), Сака (г), Alка (д), Mnка (е), Feка (ж),  $\times 500$  (а),  $\times 1000$  (б-ж)



**Рис. 4.** Морфология отложений неметаллических включений, образовавшихся при застывании погружного стакана по ходу непрерывной разливки стали: шлиф, РЭМ, контраст в отраженных электронах (а, б), характеристическом излучении Sika (в), Сака (г), Аlка (д), Мnка (е), Feка (ж),  $\times 200$  (а),  $\times 1000$  (б-ж)



## ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование технологии непрерывной разливки низкокремнистых сталей / Д. А. Дюдкин, В. В. Кисиленко, В. В. Акулов и др. – Чер. металлургия. – 2007. – № 8. – С. 35-37.

### Анотація

*Ілляшенко Б. Ф., Бурховецький В. В., Брикайло І. Л., Моцний В. В., Сургучьов Є. А.*

Дослідження складу відкладень неметалевих включень, що утворилися при заростанні занурювального стакану в умовах ККЦ ВАТ «ДМКД»

Вивчено склад відкладень, що утворилися на внутрішній поверхні занурювального стакану під час безперервного розливання сталі в умовах ККЦ ВАТ «ДМКД». Показано, що основними неметалічними включеннями, що відкладаються на стінці занурювального стакану є глиноземні включення типу  $Al_2O_3$ , які знаходяться в матриці, яка містить алюміній, кремній, кальцій, марганець і калій. Орієнтовна стехіометрія цієї матриці –  $0,9CaO \times 2,2SiO_2 \times 1,4Al_2O_3 \times 0,6MnO$ . Для усунення проблеми заростання необхідно виконати відомі рекомендації по модифікуванню включень, що містять алюміній та кальцій, і по кількісному зниженню вмісту оксидів алюмінію в сталі.

### Ключові слова

*безперервне розливання сталі, занурювальний стакан, растрова електронна мікроскопія, морфологія неметалічних включень*

### Summary

*Illyashenko B., Burhovetsky V., Brikailo I., Motsniy V., Surguchov U.*

The research of the nonmetallic inclusions composition, appearing at overgrowing the submersible glass in the conditions of «DMKD» oxygen-converter plant

The nonmetallic inclusions composition, appearing on the internal surface of submersible glass during the continuous casting in the conditions of OJSC «DMKD» LD plant is studied. It is rotined that a nonmetallic inclusions, storing on the wall of submersible glass, are the aluminous inclusions  $Al_2O_3$ , which are in a matrix, containing an aluminium, silicon, calcium, manganese and potassium. The approximate stoichiometric ratio of this phase –  $0,9CaO \times 2,2SiO_2 \times 1,4Al_2O_3 \times 0,6MnO$ . For the solving of overgrowing problem it is necessary to execute the known recommendations on retrofitting of the  $Al_2O_3$  inclusions by calcium and the quantitative decline of content of oxide aluminum inclusions in steel.

### Keywords

*continuous casting, submersible glass, scanner electron microscopy, nonmetallic inclusions morphology*

Поступила 26.05.10