УДК 669.14.018.8:669.112.227.1

***О.К. Токовой*[1], *Д.В. Шабуров*[2]**

[1] Южно-Уральский государственный университет
[2] ОАО «Челябинский металлургический комбинат»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТА «КОРЖ» В НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ Х18Н10Т. СООБЩЕНИЕ 1

Аннотация. Структура «коржа» представляет собой пористую металлическую матрицу с многочисленными включениями: шлаковые включения, грубые скопления нитридов и карбонитридов титана и окислов сложного состава. Загрязненность металла продуктами раскисления, окисления струи металла при разливке увеличивает вероятность выделения тугоплавкой фазы в виде скопления нитридов титана и появления «коржей».

Ключевые слова: нержавеющая сталь, «корж», нитриды и карбонитриды титана, шлаковые включения.

STUDY OF “CAKE” DEFECT IN CONTINUOUSLY CAST AUSTENITIC STAINLESS STEEL 18CR-10NI-1TI. REPORT 1

Abstract. The structure of “cake” defect is a porous metal matrix with numerous inclusions: slag inclusions, coarse clusters of titanium nitrides and carbonitrides and complex composition oxides. Contamination of metal by deoxidation products, oxidation of the metal stream during casting increases the probability of formation of refractory phase in the form of a cluster of titanium nitride particles and the emergence of “cakes”.

Keywords: stainless steel, “cake”, titanium nitrides and carbonitrides, slag inclusions.

При производстве холоднокатаного листа из коррозионностойкой стали Х18Н10Т основными дефектами [1] являются вкрапления грубых конгломератов из смеси металла и шлака, которые принято называть «коржами». «Коржи» образуются в кристаллизаторе при непрерывной разливке стали, когда на поверхность металла для ассимиляции неметаллических включений и защиты от вторичного окисления металла присаживаются шлакообразующие смеси (ШОС). В процессе разливки эти «коржи» частично извлекаются и удаляются из металла, а частично затягиваются вглубь слябов, образуя грубые поверхностные дефекты [2, 3].

Большая часть этих дефектов удаляется при зачистке слябов перед прокаткой, что уменьшает выход годного стали, а частично дробится при горячей и холодной прокатке, образуя на поверхности листа поверхностные дефекты в виде шлаковых корочек.

Настоящее исследование посвящено изучению этих образований с использованием растровой электронной микроскопии.

В работе изучали два «коржа», взятых из кристаллизатора при разливке двух плавок нержавеющей стали Х18Н10Т под шлакообразующей смесью двух разных химических составов (табл. 1). Оба «коржа» были извлечены из кристаллизатора на 5 – 20 м разливки.

Химический состав стали, разлитой под этими шлакообразующими смесями, приведен в табл. 2.

Изучение «коржей» проводили в два этапа.

На первом этапе на оптическом микроскопе Neophot производили качественную оценку структуры «коржа». Отбирали и отмечали наиболее часто встречающиеся типичные компоненты структуры. Второй этап производился на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6460LV с энерго-дисперсионным спектрометром фирмы Oxford Justruments Южно-Уральского государственного университета.

По результатам исследования «корж» (рис. 1, *а*) представляет собой конгломерат металла с многочисленными включениями: шлаковыми, грубыми скоплениями нитридов, оксинитридов титана и оксидов сложного состава. На рис. 1, *б* показан этот «корж» в разрезе. Видно, что «коржи» из кристаллизатора пористые. Размер пор составляет 3 – 4 мм.

Таблица 1

Состав шлакообразующих смесей

ШОС	Содержание, % (по массе)						
	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	$K_2O + Na_2O$	F	B_2O_3
1	29,0	28,0	8,0	4,0	6,5	8,7	3,0
2	31,8	35,0	5,5	0,5	7,1	7,6	3,0

Таблица 2

Химический состав опытных плавок

Условный номер плавки	Химический состав, % (по массе)											
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	N_2
1	0,07	1,11	0,32	0,010	0,037	17,38	9,34	0,20	0,05	0,47	0,11	0,015
2	0,06	1,21	0,40	0,013	0,034	17,05	9,58	0,34	0,03	0,42	0,16	0,014

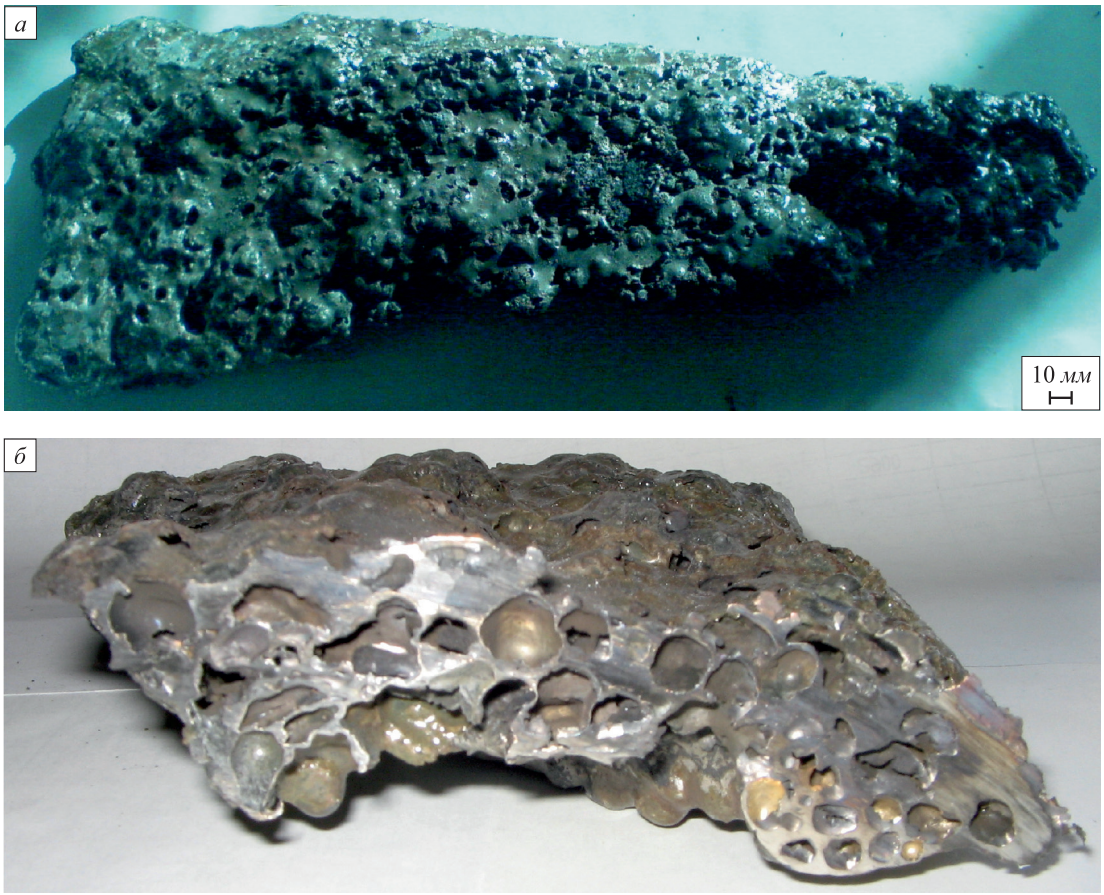


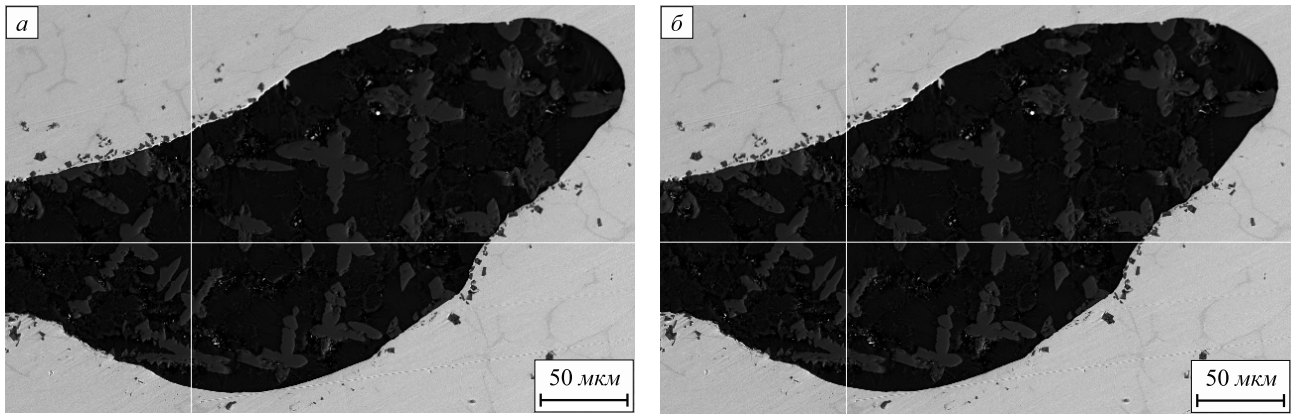
Рис. 1. Общий вид (*а*) и вид в разрезе (*б*) «коржа», взятого из кристаллизатора при разливке аустенитной стали

Шлаковые включения при использовании обеих ШОС представляют собой фазу темно-серого цвета (рис. 2, *а*), в промежутках которой находится вторая фаза в виде дендритов светло-серого цвета. В составе темно-серой фазы преобладают алюмосиликаты кальция (рис. 2, *б*) и содержится 1,5 – 4,5 % оксидов титана. Пересчет данных спектрального анализа показал, что основу этой фазы составляет система SiO_2–CaO–Al_2O_3 в соотношении 32 – 35 % SiO_2, 25 – 57 % CaO, 16 – 26 % Al_2O_3. Состав фазы близок к составу смеси, но с более высоким содержанием оксидов алюминия. Можно предположить, что это нерасплавившиеся частицы шлаковой смеси.

В составе второй фазы (рис. 2, *б*) преобладают оксиды титана (45,5 %) и кальция (40,2 %). Картирование подтвердило (рис. 3), что основу этой фазы составляют кальций и титан.

Вблизи шлаковых включений наблюдаются области с дендритным рельефом (рис. 4). В этих участках содержание хрома достигает 48 %. Фрагмент матрицы, снятой в характеристическом излучении, подтверждает результаты химической неоднородности по хрому. Такое неравномерное распределение хрома наблюдается при применении ШОС обеих типов. Содержание хрома в этих участках находится преимущественно в пределах 23 – 28 %, достигая, иногда, 55 %.

Металлическая матрица «коржа» представляет собой классическую нержавеющую сталь типа 18-8 (рис. 5). К крупным шлаковым включениям примыкает огромное количество неметаллических включений, расположенных в металлической матрице. Эти скопления представлены нитридами титана (рис. 6, *а*) совместно с оксидами переменного состава (рис. 6, *б*), содержащими 21 – 73 % Al_2O_3, 2 – 23 % TiO_2, 2 – 16 % CaO,



Элемент, % (по массе)

Спектр	O	F	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn
а	26,91	19,50	4,35	0,75	6,51	12,38	0,26	25,36	1,17	0,45
б	33,15	2,38	–	–	0,51	0,14	–	27,96	34,01	–

Рис. 2. Шлаковое включение в «корже» (пояснения в тексте)

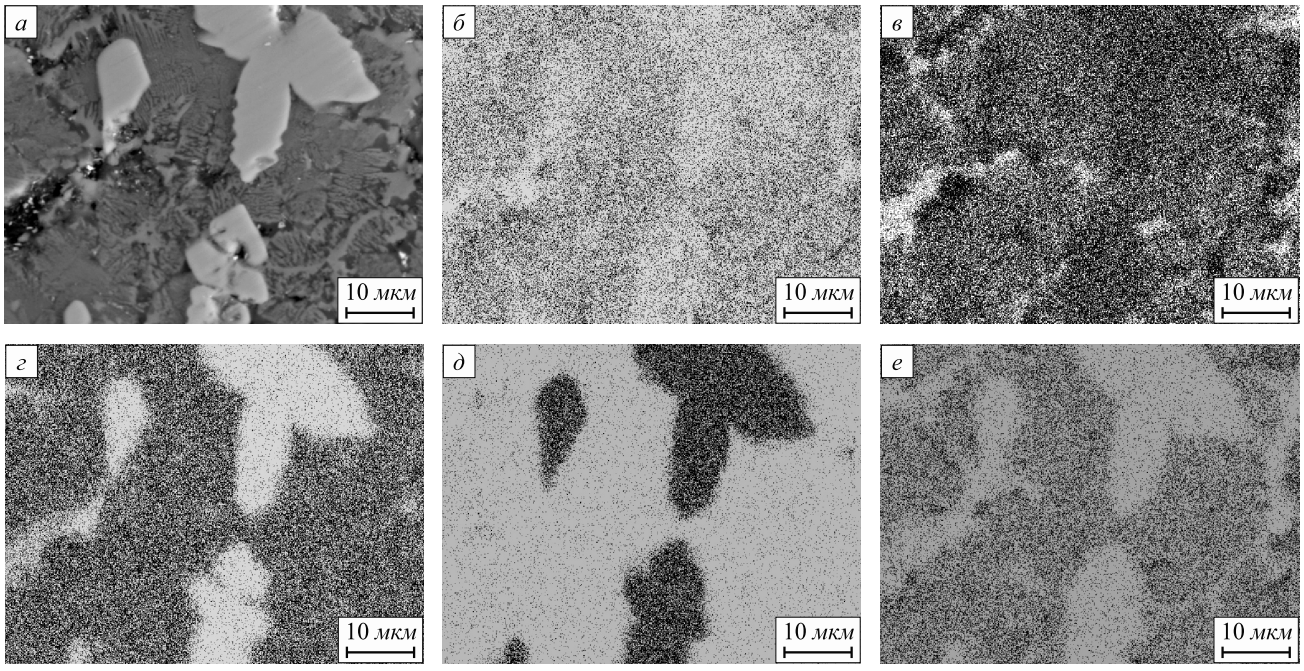
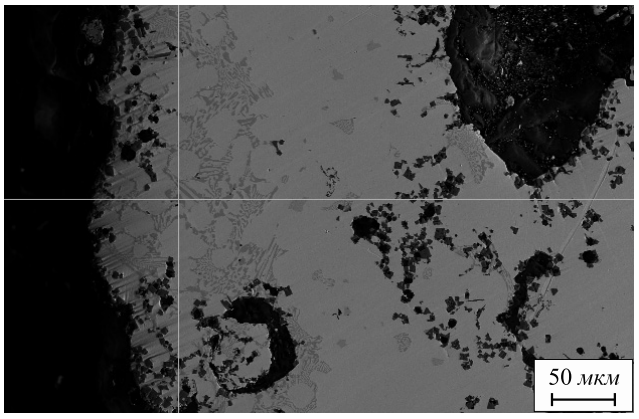


Рис. 3 Результаты картирования фазы шлакового включения (*а*), представленного на рис. 2, *б*:
б – O; *в* – Ca; *г* – Si; *д* – Ti; *е* – Al

2 – 28 % SiO_2. Не исключено, что эти оксиды могут являться гетерогенными зародышами для выделения нитридов титана в металле. Оксиды по своему составу близки к продуктам раскисления или окисления струи металла, а также к продуктам взаимодействия раскислителей с огнеупорами ковша.

Таким образом, структура «коржа» независимо от вида применяемой смеси при разливке представляет собой пористую металлическую матрицу с многочисленными включениями. Результаты исследования позволяют предполагать, что зародышами для выделения нитридов титана в металле и образования «коржей» могут быть оксиды алюминия, кремния и титана – неудалившиеся продукты раскисления стали или продукты окисления струи металла при разливке. С этой точки зрения любое загрязнение металла неметаллической фазой должно увеличивать вероятность выделения тугоплавкой фазы в виде скопления нитридов и оксинитридов титана и образование «коржей».

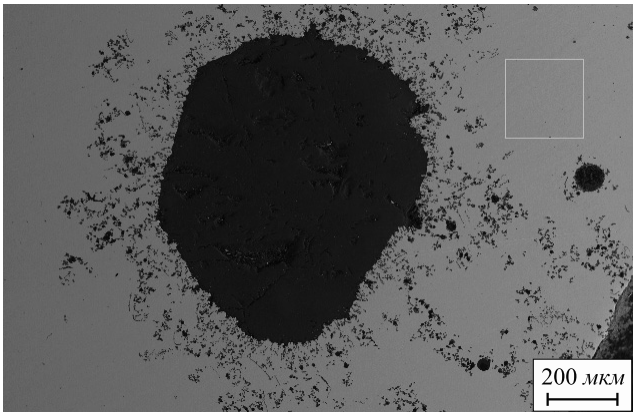
Выводы. Структура «коржа» независимо от вида применяемой смеси при разливке представляет собой пористую металлическую матрицу с многочисленными включениями: шлаковые включения, грубые скопления нитридов и карбонитридов титана и окислов сложного состава. Оксиды алюминия, кремния и ти-



Элемент, % (по массе)

Mn	Cr	Si	Fe	Ni	Mo
1,09	55,19	0,07	41,44	1,16	1,05

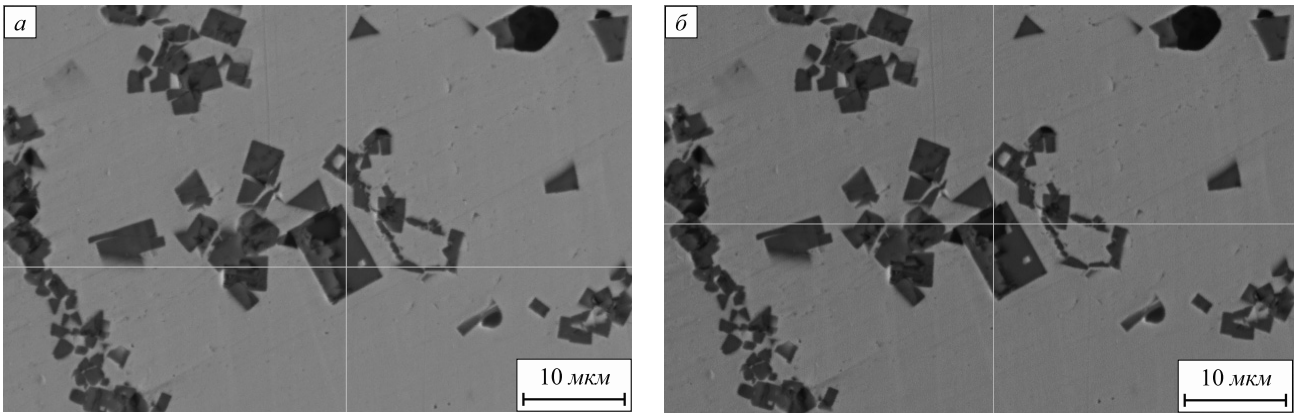
Рис. 4. Металлическая матрица с дендритным рельефом вблизи шлаковых включений в «корже»



Элемент, % (по массе)

Si	Cr	Mn	Fe	Ni
0,55	18,55	1,60	69,65	9,65

Рис. 5. Шлаковое включение в металлической матрице «коржа»



Элемент, % (по массе)

Спектр	C	N	Ti	Cr	O	Al	Si	Mn	Ca	Mg
а	2.05	28.65	66.78	1.19	–	–	–	–	–	–
б	–	–	1,13	1,13	38,66	29,00	0,68	2,62	1,22	12,14

Рис. 6. Нитриды титана (*а*) и оксидные неметаллические включения (*б*) в металлической матрице «коржа»

тана могут явиться гетерогенными зародышами для выделения нитридов титана в металле и образования «коржей». Оксиды по своему составу близки к продуктам раскисления стали или продуктам окисления струи металла при разливке. Загрязненность металла продуктами раскисления, окисления струи металла при разливке увеличивает вероятность выделения тугоплавкой фазы в виде скопления нитридов титана и появления «коржей». В металлической матрице «коржей» имеет место существенная неоднородность по хрому, при этом концентрация хрома в отдельных участках достигает 55 %, что увеличивает тугоплавкость системы и, видимо, определенным образом, способствует образованию «коржей».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левада А.Г., Макаров Д.Н., Антонов В.И., Токовой О.К. //Сталь. 2008. № 3. С. 74 – 75.
2. Левада А.Г., Антонов В.И., Токовой О.К., Фомченко С.М. // Металлург. 2008. № 6. С. 43 – 45.
3. Левада А.Г., Антонов В.И., Токовой О.К., Фомченко С.М. // Сталь. 2008. № 3. С. 40 – 43.

© 2013 г. *О.К. Токовой, Д.В. Шабуров*
Поступила 27 мая 2013 г.