

# влияние добавки на основе алюминатов кальция на свойства MgO-C огнеупоров для сталеразливочных ковшей

XX Конференция огнеупорщиков и металлургов  
МИСиС, Москва  
май 2023

А. О. Мигашкин

Руководитель направления  
по технологии производства изделий,  
техническое управление



# 1

## опережающий износ футеровки сталковша

- ▶ виды износа
- ▶ вертикальное растрескивание

# 2

## влияние СА добавки на свойства MgO-C изделий

- ▶ о проекте
- ▶ экспериментальная часть
- ▶ этапы производства опытных изделий

# 3

## результаты исследования

- ▶ предел прочности при сжатии
- ▶ открытая пористость
- ▶ предел прочности при изгибе
- ▶ ТКЛР
- ▶ рентгенофазовый состав
- ▶ микроструктурный анализ
- ▶ выводы и планы



# 1

## опережающий износ футеровки сталковша

опережающий износ  
футеровки стальковша



## ВИДЫ ИЗНОСА

коррозионный  
и эрозионный износ



сколы и диагональные  
трещины



вертикальное  
растрескивание

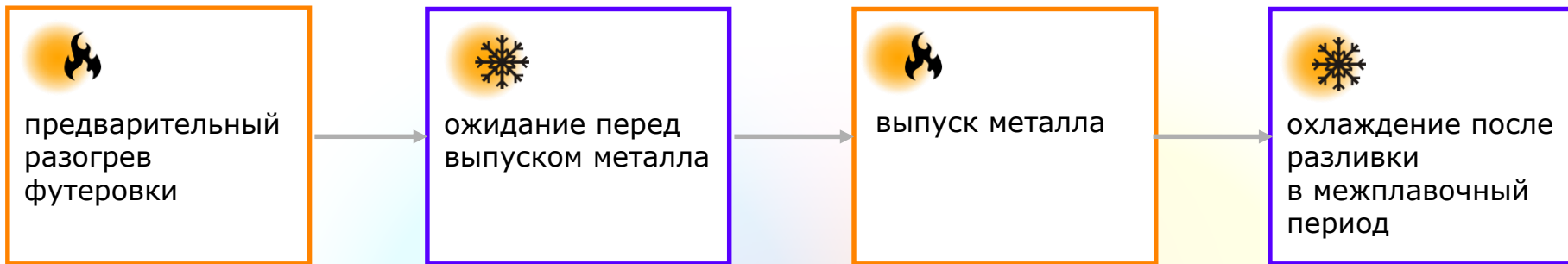


опережающий износ  
футеровки сталковша

# вертикальное растрескивание

периоды изменения  
температурного поля в сталковше

Причина вертикального растрескивания футеровок сталковшей - термическое напряжение огнеупоров при резком нагревании или охлаждении футеровок, особенно в условиях инверсии теплового потока  
нагрев-охлаждение-нагрев.





# 2

## влияние СА добавки на свойства MgO-C изделий

# о проекте

## задача проекта

разработка MgO-C огнеупоров, способных противостоять термомеханическим нагрузкам и при этом обладать высокой коррозионной стойкостью

Для повышения срока эксплуатации футеровок сталковшей важно, чтобы возникающие при эксплуатации термические и механические напряжения были минимальны и быстро рассеивались.

## цель проекта

исследование физико-механических показателей, фазового состава, а также микроструктуры MgO-C изделий при введении в состав добавки на основе алюминатов кальция

Исследование включало:

- ▶ эксперименты с различным фракционным размером добавки от 0 до 3 мм;
- ▶ определение показателей после термообработки и коксования.



влияние СА добавки  
на свойства MgO-C изделий

# экспериментальная часть

минерально-фазовый состав  
кальций-алюминатной добавки

компонент                      содержание (объемн.)

CaO·2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>                      68-75 %

CaO·6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>                      19-23 %

AMШ                                3-7 %



Введение кальций-алюминатной (СА) добавки осуществляли с фракционным размером от 0 до 3 мм, уменьшая при этом основные фракции плавленного периклаза на соответствующее количество вводимой добавки.  
Всего изучалось 4 состава.

Исходные материалы	составы			
	1	2	3	4
плавленный периклаз фр. 6-0 мм	89	86	86	85
графит	10	10	10	10
добавка СА, фр. 0,063-0 мм	-	+	-	-
добавка СА, фр. 1-0 мм	-	-	+	+
добавка СА, фр. 3-1 мм	-	-	-	+
комбинированное связующее	+	+	+	+





# этапы производства ОПЫТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

огнеупорные изделия  
для эксперимента производились  
по стандартной схеме

## смешение

Смешение исходных компонентов осуществляли в смесителе интенсивного действия фирмы «EIRICH».



## прессование

Массу прессовали на гидравлическом прессе фирмы «Laeis» по трехступенчатому режиму в формате mini-key.



## термообработка

Термическую обработку сырца производили в туннельной термопечи «Riedhammer» при макс. температуре 240 °С.





# 3

## результаты исследования

# предел прочности при сжатии

## стандарты определения

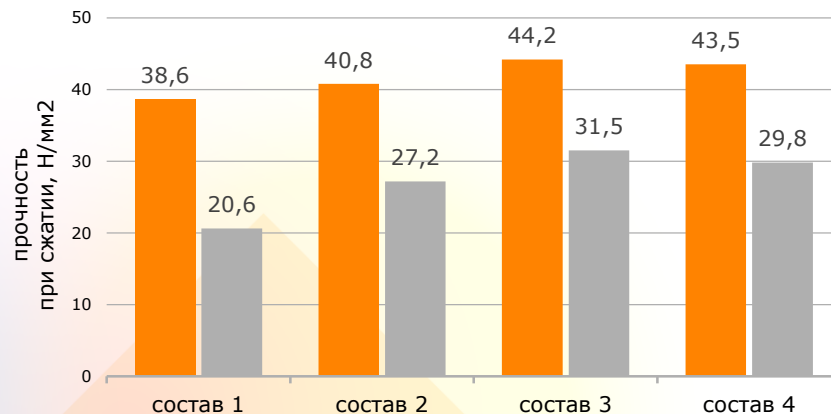
Определение предела прочности при сжатии при комнатной температуре проводили по ГОСТ 4071.1-2021.

Коксование образцов осуществляли в коксовой засыпке при температуре  $990 \pm 10$  °С в шахтной печи ПШ-1,0-45, согласно ГОСТ 30771-2001.

результаты лабораторных испытаний предела прочности при сжатии образцов при комнатной температуре и после коксования



график изменения предела прочности при сжатии



# пористость открытая при сжатии

## стандарты определения

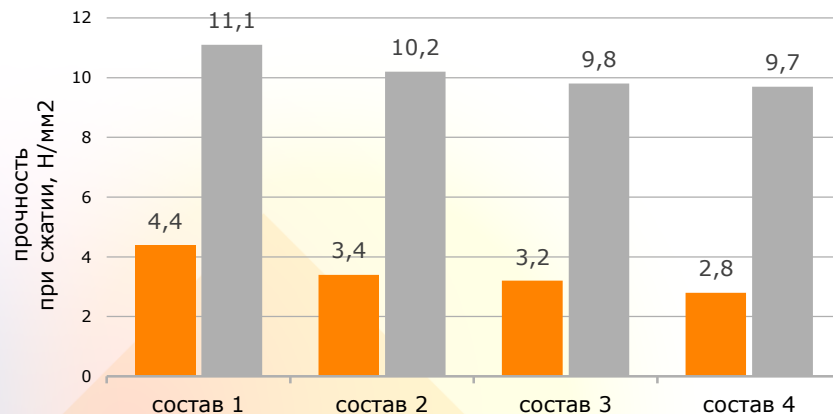
Определение открытой пористости осуществляли по ГОСТ 2409-2014 на установке ЭКВ-М.

Коксование образцов осуществляли в коксовой засыпке при температуре  $990 \pm 10$  °С в шахтной печи ПШ-1,0-45, согласно ГОСТ 30771-2001

результаты лабораторных испытаний открытой пористости образцов при комнатной температуре и после коксования



график изменения открытой пористости



# предел прочности при изгибе

## стандарты определения

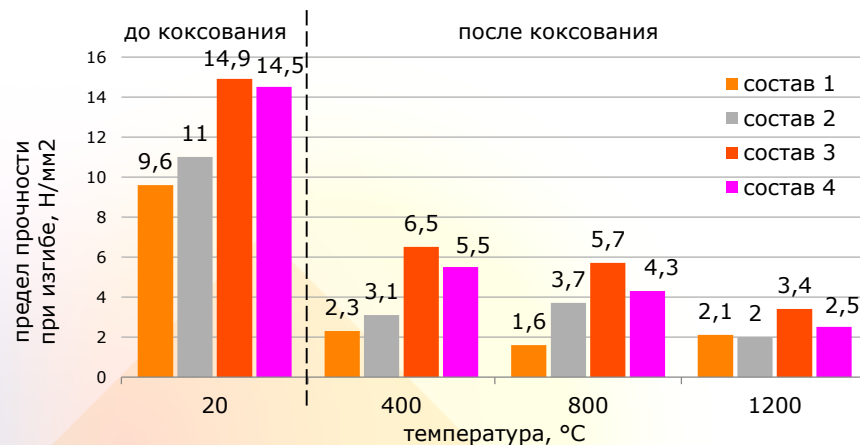
Определение осуществляли на образцах в виде параллелепипеда при комнатной температуре по ГОСТ 50526-93, при повышенных температурах по ГОСТ 31040-2002.

Коксование образцов осуществляли в коксовой засыпке при температуре  $990 \pm 10$  °С в шахтной печи ПШ-1,0-45, согласно ГОСТ 30771-2001



результаты лабораторных испытаний предела прочности при изгибе при комнатной температуре до коксования при комнатной температуре и после коксования при повышенных температурах

график изменения предела прочности при изгибе



# термический коэффициент линейного расширения

## условия испытаний

Дилатометрические измерения проводили на приборе DIL 402C ф.«Netzsch»

среда: инертная, аргон

скорость нагрева: 10 К/мин

Высокий термический коэффициент линейного расширения огнеупоров ограничивает срок службы футеровки при довольно большой ее остаточной толщине вследствие сколов и вертикального растрескивания в условиях инверсии теплового потока (нагрев-охлаждение-нагрев).



результаты лабораторных испытаний термического коэффициента линейного расширения в интервале температур 20-1500 °С

показатель	состав 1	состав 2	состав 3	состав 4
ТКЛР, $1/K \cdot 10^{-6}$	10,62	9,57	9,18	8,84
относительное удлинение, $\Delta L/L_0$ , %	1,57	1,42	1,35	1,31



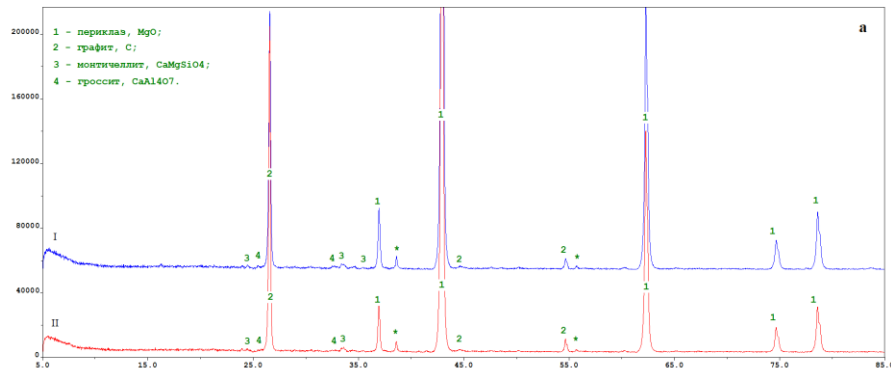
# рентгенофазовый анализ

## условия испытаний

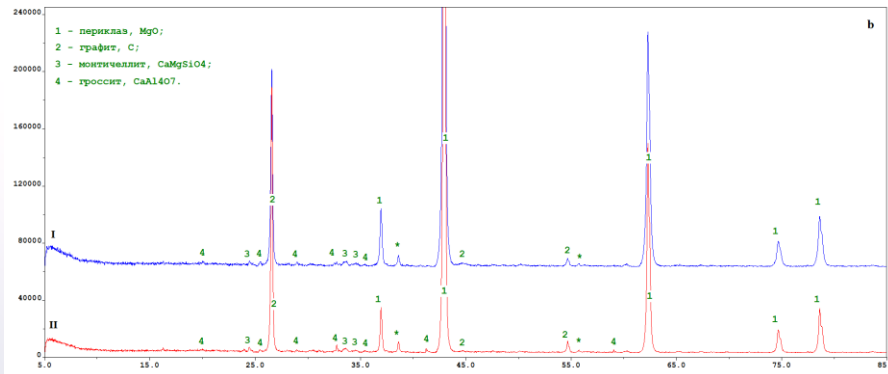
рентгенофазовый анализ проводили с помощью дифрактометра X<sup>tra</sup> фирмы ARL

диапазон: 5-85° скорость съемки: 8 град/мин  
шаг съемки: 0,02 ° тип излучения: Cu<sub>Kα</sub>

рентгенофазовый анализ состава 2



рентгенофазовый анализ состава 3





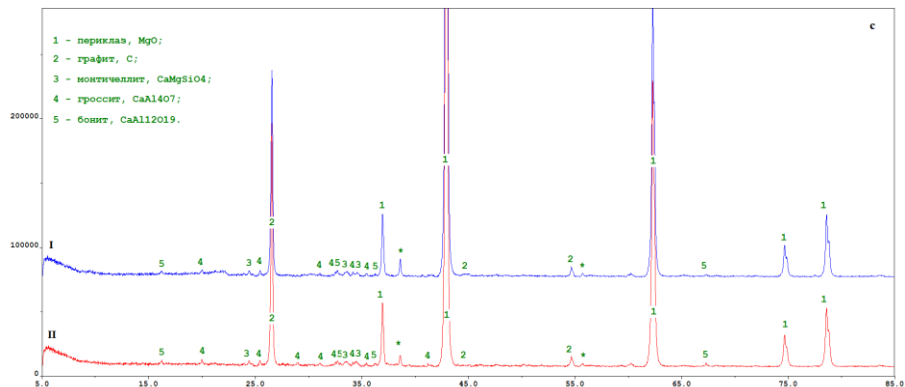
# рентгенофазовый анализ

## условия испытаний

рентгенофазовый анализ проводили с помощью дифрактометра X<sup>т</sup>ra фирмы ARL

диапазон: 5-85°      скорость съемки: 8 град/мин  
шаг съемки: 0,02 °      тип излучения: Cu<sub>Kα</sub>

рентгенофазовый анализ состава 4

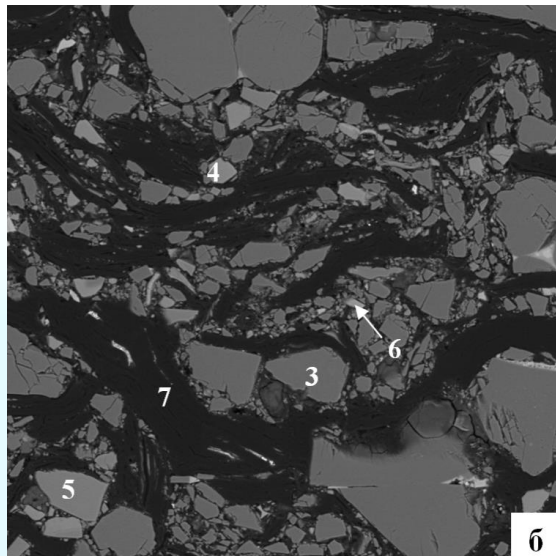
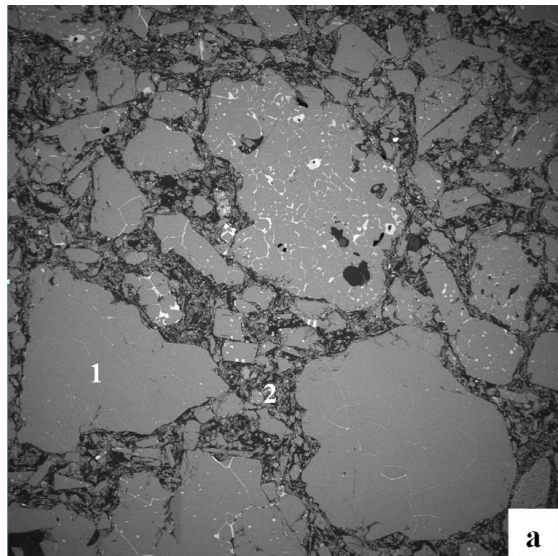






# микроструктурный анализ

Микроструктурный анализ изделий. Анализ проводился на детекторе BSE.



## анализ изделия состава 2

фото а общая микроструктура, x20

1 зерно плавленного периклаза

2 матрица огнеупора

фото б микроструктура матрицы, x500

3 частица периклаза

4 алюминат кальция

5 бонит

6 монтичеллит

7 графит



# микроструктурный анализ

Микроструктурный анализ периклазоуглеродистых образцов,  $\times 16$   
Анализ проводился на детекторе BSE.

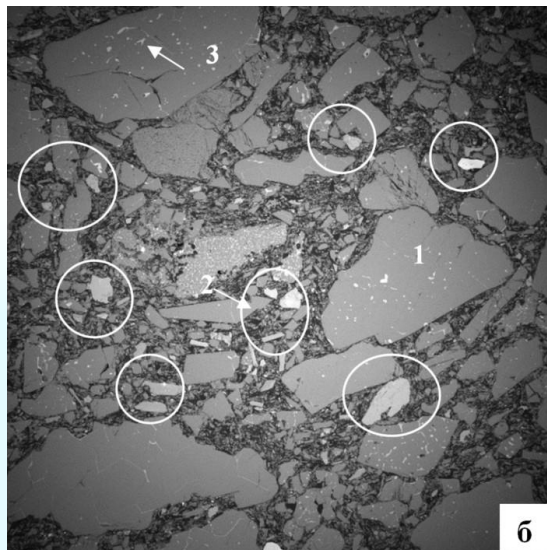
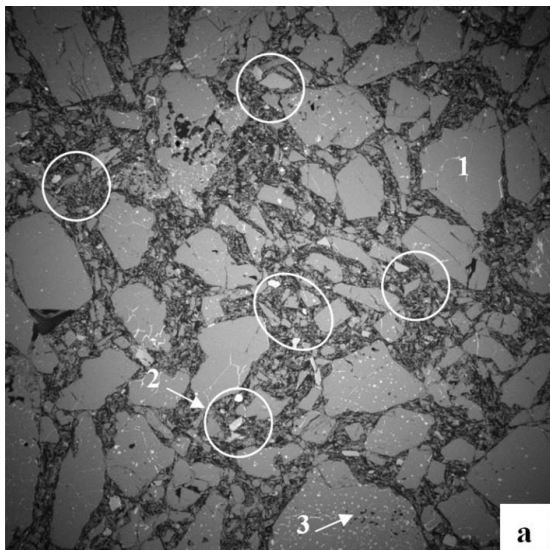


фото а состав 3

фото б состав 4

- 1 зерно плавленного периклаза
- 2 включения зерен и частиц кальций-алюминатной добавки
- 3 пленки силикатов



# ВЫВОДЫ И ПЛАНЫ

## общие выводы

Кальций-алюминатная добавка в зерновых фракциях позволяет:

- ▶ повысить физико-механические свойства периклазоуглеродистых изделий
- ▶ снизить термический коэффициент линейного расширения периклазоуглеродистых изделий на 10-16% в зависимости от фракционного размера добавки.

Внедрение добавки позволяет снизить вероятность разрушения рабочей поверхности футеровки, из-за возникающих сжимающих напряжений в кладке при первых наливах расплава металла в сталеразливочный ковш.

## планы

Планируется произвести опытно-промышленную партию изделий с последующей апробацией в рабочей футеровке сталеразливочного ковша.

# спасибо

+7 (982) 300-59-17

[amigashkin@magnezit.com](mailto:amigashkin@magnezit.com)



[сайт Группы Магнезит](#)