

повышение устойчивости MgO-C огнеупоров к циклическим температурным воздействиям

А. О. Мигашкин

Руководитель направления
по технологии производства изделий,
техническое управление

1

опережающий износ футеровки сталковша

- ▶ виды износа
- ▶ вертикальное растрескивание
 - напряжения при нагреве
 - дополнительное напряжение
 - напряжения при охлаждении

2

решения для повышения устойчивости футеровки

- ▶ о проекте
- ▶ графит в составе изделий
- ▶ дополнительные добавки
 - Вариант O
 - Вариант A
 - Вариант B
 - Вариант C
 - Вариант D
 - результаты исследования
- ▶ опытные испытания изделий с добавкой D
- ▶ вывод



1

опережающий износ футеровки сталковша



ВИДЫ ИЗНОСА

коррозионный
и эрозионный износ



сколы и диагональные
трещины



вертикальное
растрескивание



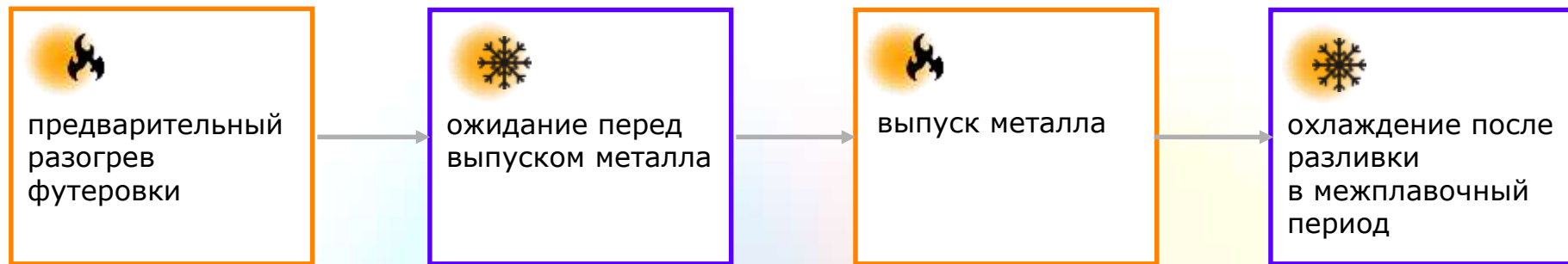


1. опережающий износ футеровки стальной ковша

вертикальное растрескивание

периоды изменения температурного поля в стальной ковше

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





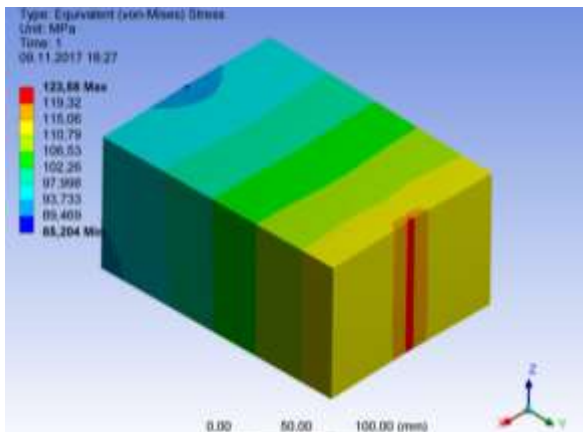
напряжения при нагреве



предварительный нагрев футеровки

выпуск металла

Распределение напряжений при нагреве футеровки сталковша (по центру шов между изделиями)



описание напряжений и деформаций

При нагреве футеровки происходит расширение рабочей грани изделий, максимальные напряжения при этом локализуются на рабочей поверхности у вертикальных швов.

Быстрый нагрев футеровки вызывает необратимую деформацию материала на рабочей поверхности.

Последующее расширение изделий на определенном расстоянии от горячей поверхности может спровоцировать раскрытие шва.

Чем выше коэффициент термического линейного расширения огнеупоров (ТКЛР), тем больше сжимающие напряжения и выше вероятность разрушения рабочей поверхности

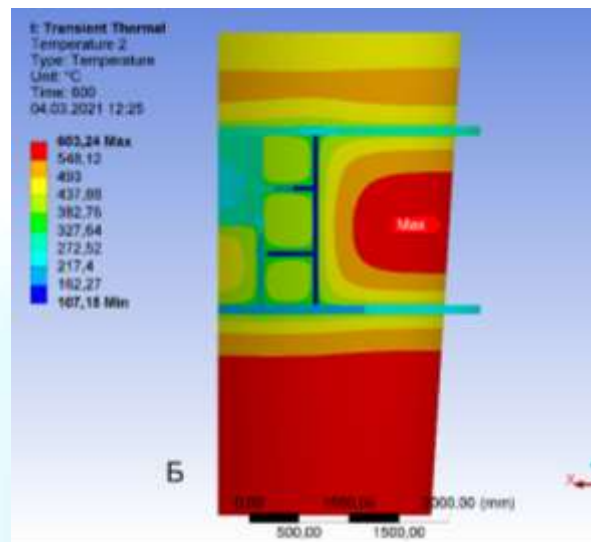
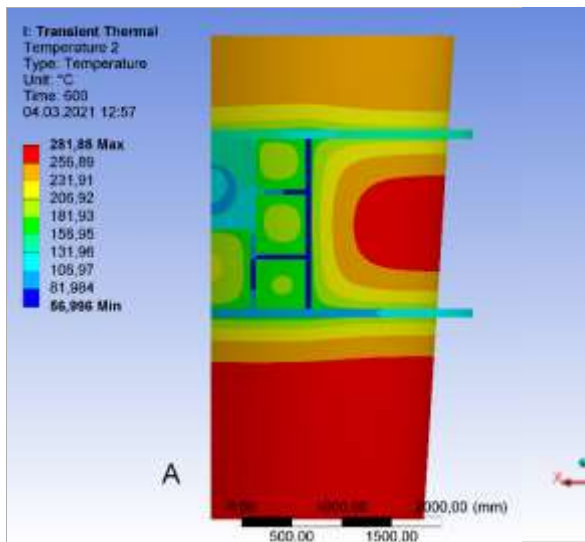


дополнительное напряжение

металл в ковше

А - Температура брони ковша при проектной теплоизоляции.

Б - Температура брони ковша без теплоизоляции



температурное поле ковша

В области цапф и бандажей температурное поле ковша приводит к высоким термомеханическим нагрузкам ввиду значительных перепадов температуры как по толщине изделия, так и по тыльной поверхности, особенно при недостаточной или отсутствующей теплоизоляции.

Перепад температуры может достигать

600 градусов по толщине и

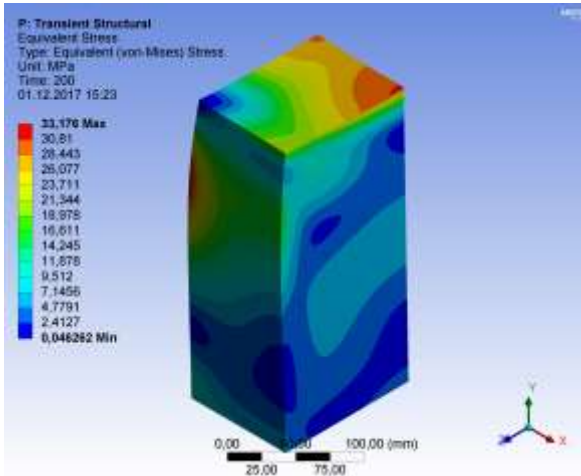
200 градусов по поверхности



напряжения при охлаждении



ожидание перед выпуском металла
охлаждения после разливки



описание напряжений и деформаций

При охлаждении сравнительно быстро наступает момент, после которого температура глубоких слоев изделия оказывается выше, чем рабочей поверхности.

При этом поверхность испытывает растягивающие напряжения (максимальные в ее центральной зоне), а на боковых гранях происходит изгиб.

Распределение напряжений при охлаждении футеровки сталковша (половина изделия)

Когда растягивающее напряжение чрезвычайно велико, появляются вертикальные трещины, которые разделяют изделия в вертикальном направлении.





2

решения для повышения устойчивости футеровки

2. решения для повышения устойчивости футеровки

о проекте

задача проекта

Повышение устойчивости MgO-C огнеупоров к циклическим температурным воздействиям

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



цель исследования

Поиск такого состава изделий, который позволит снижать или полностью контролировать ТКЛР изделий при циклических температурных воздействиях.

Исследование включало:

- ▶ эксперименты с различной долей графита в составе изделий – от 5 до 20%
- ▶ эксперименты с дополнительными добавками

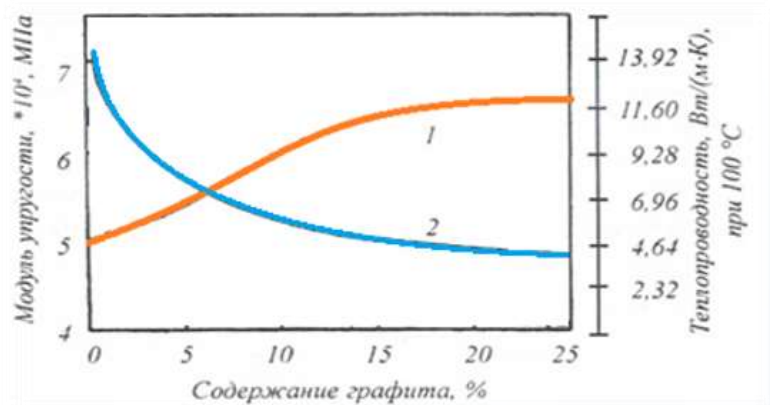
2. решения для повышения устойчивости футеровки

графит в составе изделий

Влияние содержания графита на свойства MgO-C изделий.

1 – теплопроводность

2 – модуль упругости



Независимо от количества введенного графита в процессе испытаний при циклических температурных нагрузениях в диапазоне 900-1500°С относительное удлинение образцов снижается.

При увеличении доли углеродной составляющей в MgO-C огнеупорах повышается их термостойкость за счет:

- ▶ увеличения теплопроводности
- ▶ снижения модуля упругости
- ▶ уменьшения термического расширения.

2. решения для повышения устойчивости футеровки

дополнительные добавки

Варианты добавок

- ▶ О – контрольный состав без добавок
- ▶ А
- ▶ В
- ▶ С
- ▶ D

Лабораторные испытания относительного удлинения и общей деформации образцов изделий с различными добавками при 1500°C



Условия испытаний

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

Среда: инертная, аргон

Скорость нагрева: 10 К/мин

Содержание графита во всех изделиях составляет 10%



Вариант О

Результаты лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов без дополнительных добавок

Результаты относительного удлинения образцов MgO-C изделий при 1500°C и циклических температурных нагрузках

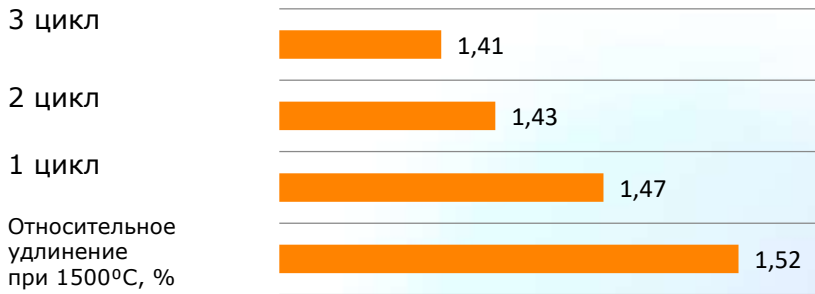
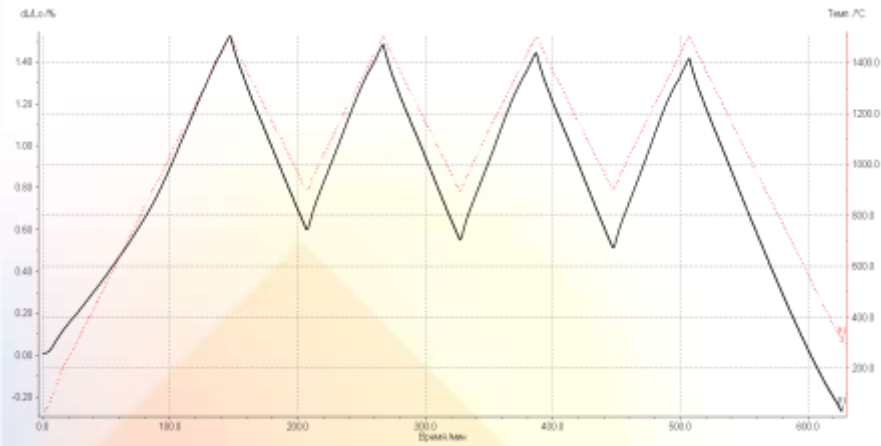


график изменения относительного удлинения образцов MgO-C изделий при циклических температурных нагрузках





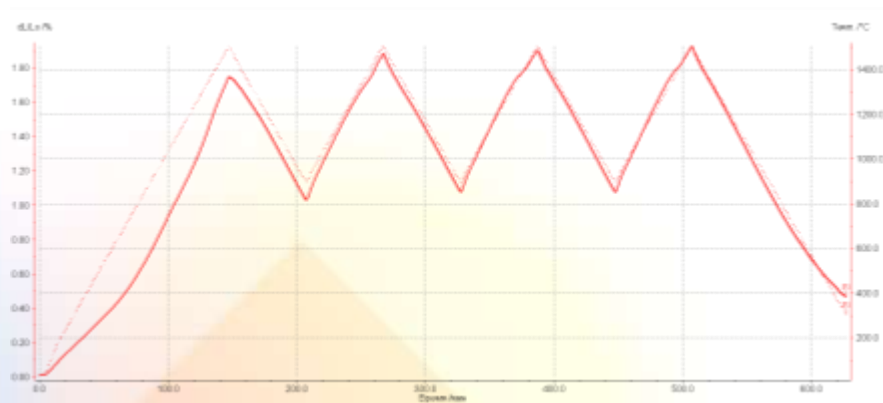
Вариант А

Результаты лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов с добавкой А

Результаты относительного удлинения образцов ПУ изделий с добавкой А при 1500°C и циклических температурных нагрузках



график изменения ТКЛР образцов ПУ изделий с добавкой А при циклических температурных нагрузках





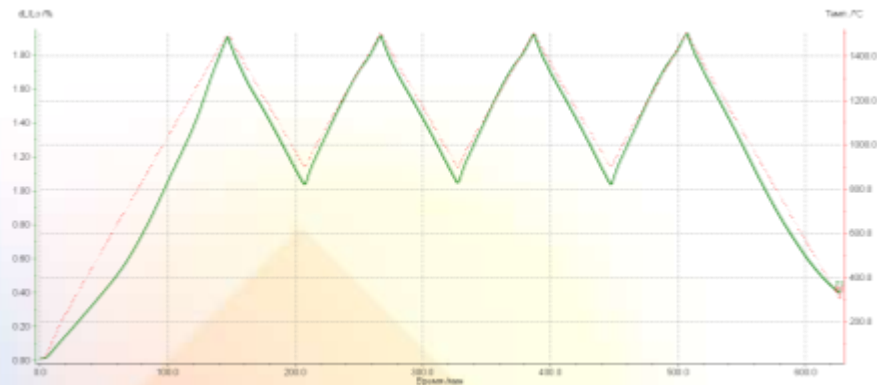
Вариант В

Результаты лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов с добавкой В

Результаты относительного удлинения образцов ПУ изделий с добавкой В при 1500°C и циклических температурных нагрузках



график изменения ТКЛР образцов ПУ изделий с добавкой В при циклических температурных нагрузках





Вариант С

Результаты лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов с добавкой С

Результаты относительного удлинения образцов ПУ изделий с добавкой С при 1500°C и циклических температурных нагрузках

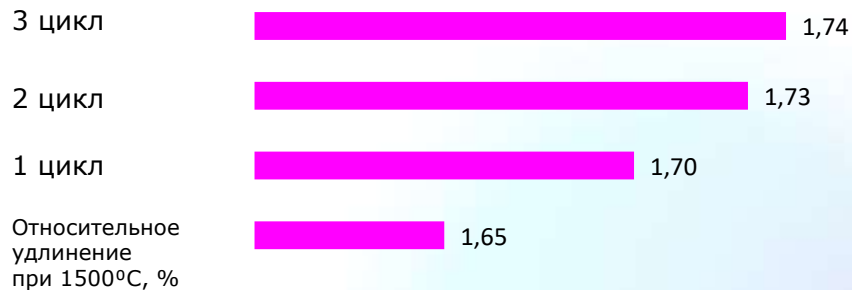
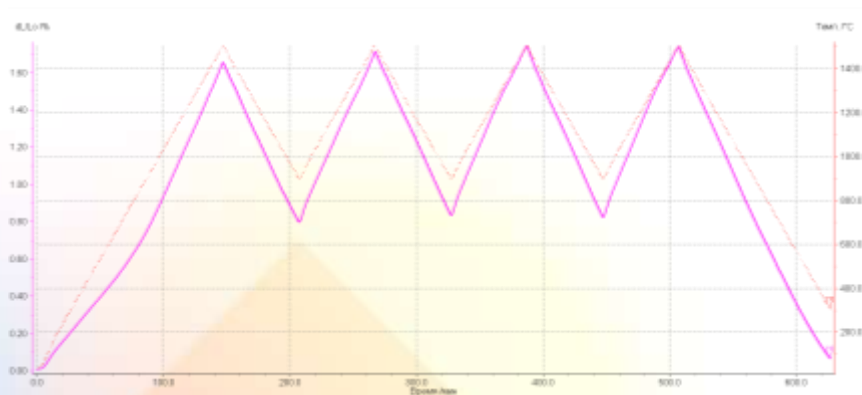


график изменения ТКЛР образцов ПУ изделий с добавкой С при циклических температурных нагрузках





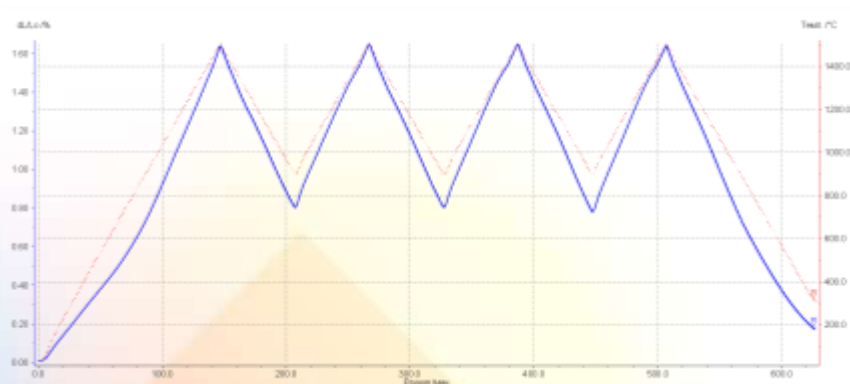
Вариант D

Результаты лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов изделий с добавкой D

результаты относительного удлинения образцов ПУ изделий с добавкой D при 1500°C и циклических температурных нагрузках



график изменения ТКЛР образцов ПУ изделий с добавкой D при циклических температурных нагрузках



2. решения для повышения устойчивости футеровки

результаты исследования

Сводный анализ лабораторных испытаний относительного удлинения и общей деформации образцов изделий с различными добавками при 1500°C



Показатель	Вариант добавки				
	О	А	В	С	Д
Относительное удлинение при 1500°C, %	1,52	1,44	1,89	1,65	1,64
1 цикл	1,47	1,87	1,90	1,70	1,64
2 цикл	1,43	1,89	1,91	1,73	1,64
3 цикл	1,41	1,92	1,92	1,74	1,64
Общая деформация после завершения эксперимента, %	-0,46	0,19	0,20	-0,15	0,00

2. решения для повышения устойчивости футеровки



Состояние футеровки сталеразливочного ковша после 30 плавков.



ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ С ДОБАВКОЙ D

Физико-механический показатель	Значения*
Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	37,9
Предел прочности при сжатии после коксования, Н/мм ²	26,8
Пористость открытая, %	4,5
Пористость открытая после коксования, %	7,7
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,07
Кажущаяся плотность после коксования, г/см ³	3,04
Предел прочности при изгибе после коксования, Н/мм ² , при	
20 °С	2,9
800 °С	3,9
1200 °С	3,6
ТКЛР, 1/К·10-6, в интервале 20-1500 °С	11,02

* Типичные значения свойств представлены по данным результатов испытаний при паспортизации продукции. Приведенные типичными значения, в т.ч. Показатели после коксования не являются контрактными и носят информативный характер. Мы оставляем за собой право на совершенствование продукции и связанные с этим изменения показателей свойств.



ВЫВОД

Изделия MgO-C с добавкой D производства Группы Магнезит - огнеупоры с пониженным и контролируемым линейным расширением.

Их применение повышает сроки эксплуатации футеровок сталковшей.

спасибо

E-mail: amigashkin@magnezit.com
Моб.: 8-982-300-5917



[сайт Группы Магнезит](#)