

Численное исследование течения расплава металла при выпуске из агрегатов

XXI Конференция огнеупорщиков
и металлургов, МИСиС, май 2024 г.

А.В. Заболотский, С.В. Данильченко, В.Т. Хадыев,
С.В. Сухарев, А.С. Ембалаев



1

постановка задачи

- ▶ конструкция
- ▶ актуальность
- ▶ факторы износа
- ▶ условия эксплуатации

2

термомеханический подход

- ▶ температурное поле футеровки
- ▶ напряженно-деформированное состояние
- ▶ анализ результатов

3

гидродинамический подход

- ▶ условия задачи
- ▶ моделирование образования вихрей
- ▶ воздействие на стенку канала

4

эрозия поверхности

- ▶ определение
- ▶ условия задачи
- ▶ локальное напряженно-деформированное состояние
- ▶ благодарности

- ▶ выводы



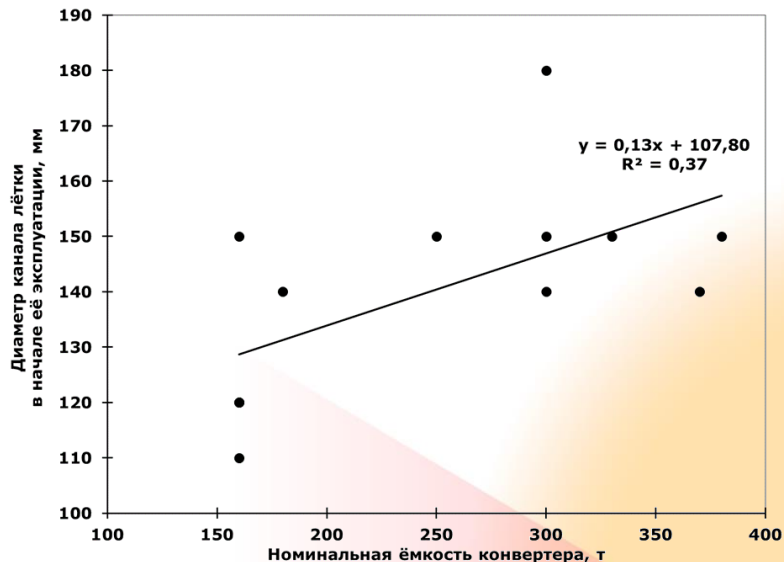
1

постановка задачи

1. постановка задачи

КОНСТРУКЦИЯ

Зависимость диаметра канала лётки от номинальной ёмкости конвертера

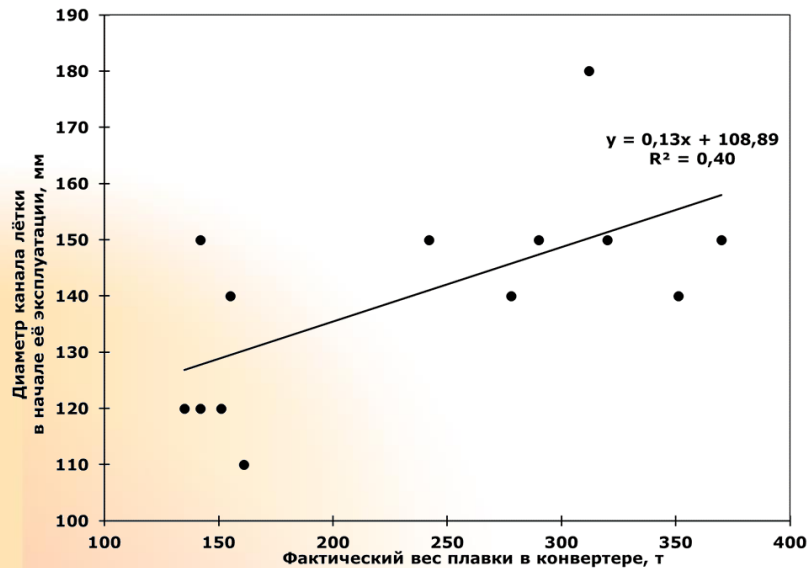


Численное исследование течения расплава при выпуске из агрегатов



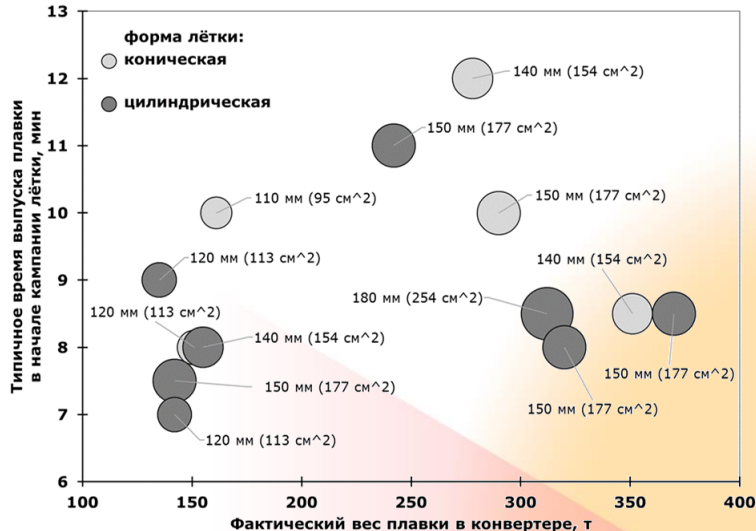
Объём агрегата, как правило, коррелирует с размером сталевыпускного канала.

Зависимость диаметра канала лётки от фактического веса плавки в конвертере



актуальность

Распределение соотношений фактического веса конвертерной плавки, типичного времени выпуска и диаметра (площади поперечного сечения) лётки в начале её кампании



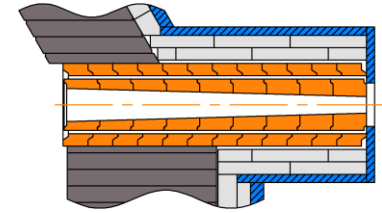
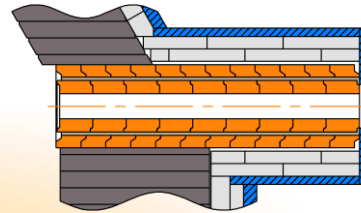
Огнеупоры сталевыпускных каналов являются одними из наиболее изнашиваемых деталей футеровок, определяющих число остановок оборудования.



Типы лёток:

Цилиндрическая

Коническая



Простая математическая взаимосвязь между характеристиками сталеплавильного агрегата (емкость, длительность плавки и т.д.) и периодичностью замены леток сталевыпускных узлов не выявлена.

В связи с этим требуется проведение исследований для выявления механизма и факторов разрушения этого типа огнеупоров.

факторы износа



Численное исследование течения расплава при выпуске из агрегатов

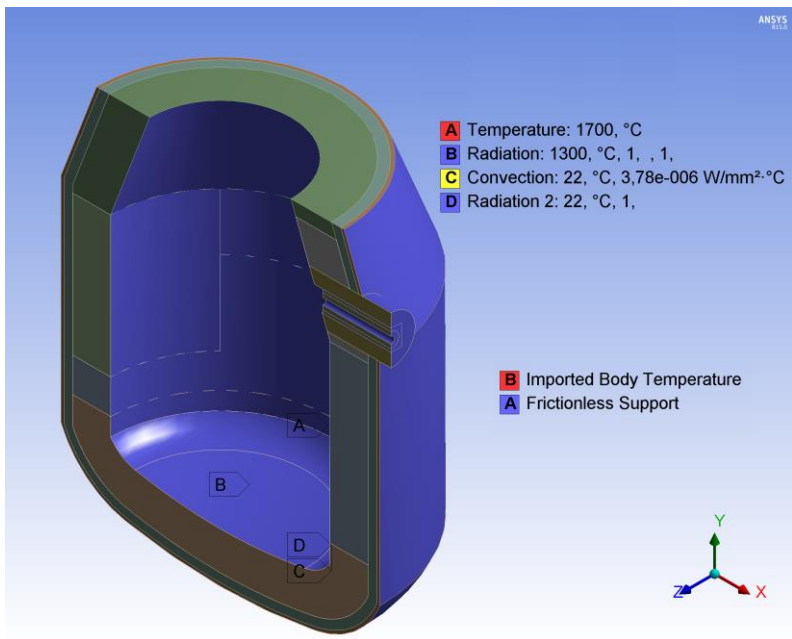
В процессе эксплуатации огнеупоры сталевыпускных каналов испытывают сложное термомеханическое воздействие.



В процессе выпуска плавки на огнеупор летки действуют следующие факторы:

- ▶ сложное температурное поле, формирующее соответствующие упругие деформации;
- ▶ абразивное действие движущегося расплава стали;
- ▶ химическое взаимодействие с металлом и, особенно, шлаками.

условия эксплуатации



Численное исследование течения расплава при выпуске из агрегатов

Сталеплавильные агрегаты являются оборудованием периодического действия.



На оборудование действует:

- ▶ температура на рабочей поверхности;
- ▶ излучение от расплава;
- ▶ конвекция воздуха внутри агрегата;
- ▶ теплоотдача в окружающую среду.

Механические факторы:

- ▶ абразивное действие движущегося расплава стали;
- ▶ химическое взаимодействие с металлом и, особенно, шлаками.

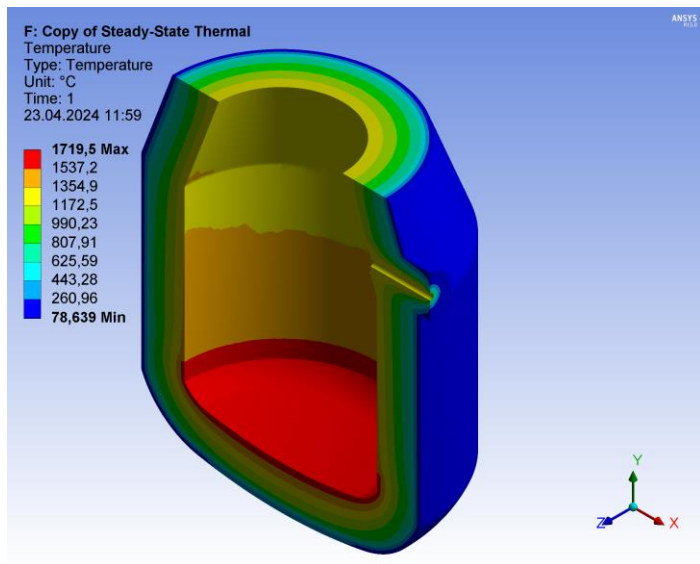


2 термомеханический ПОДХОД

2. термомеханический подход

температурное поле футеровки

Температурное поле футеровки конвертера

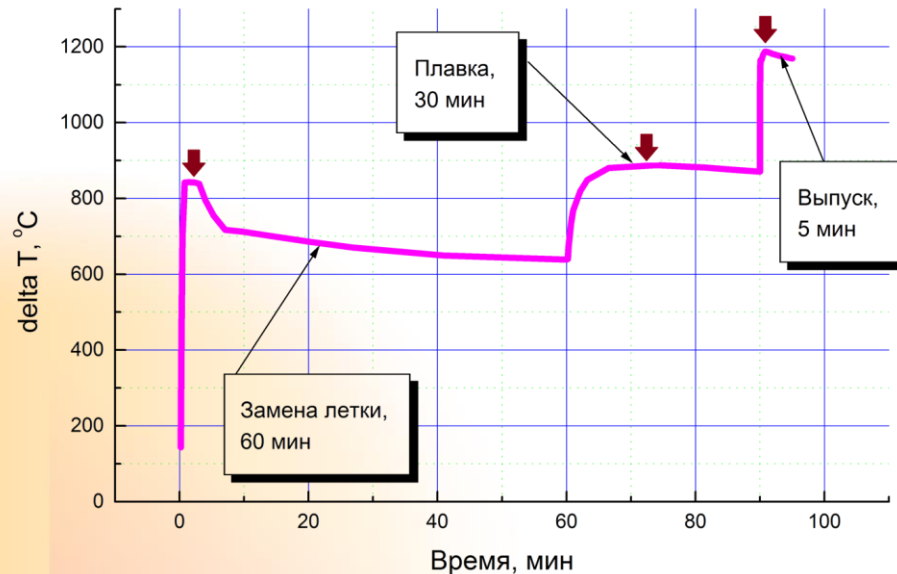


Численное исследование течения расплава при выпуске из агрегатов

Футеровка агрегатов в процессе эксплуатации подвержена неравномерному нагреву.

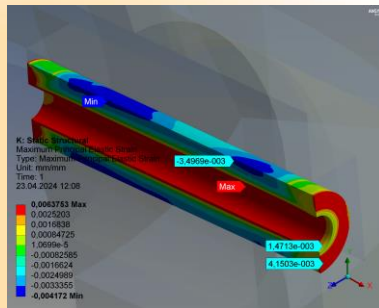
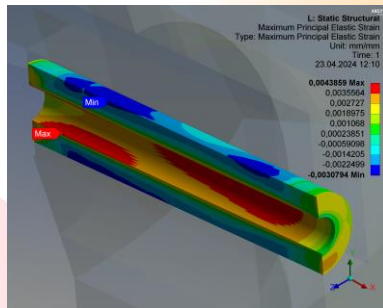
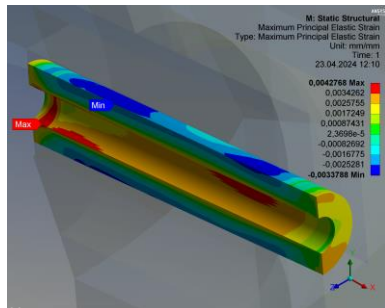
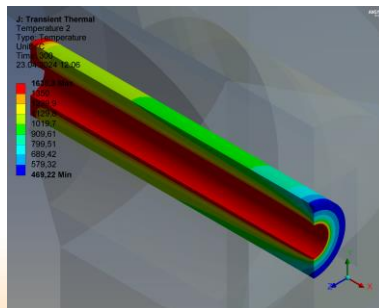
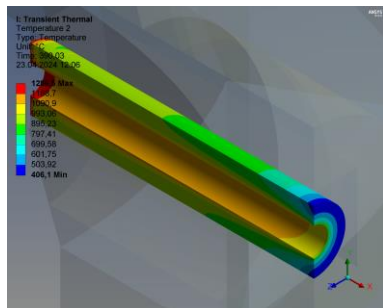
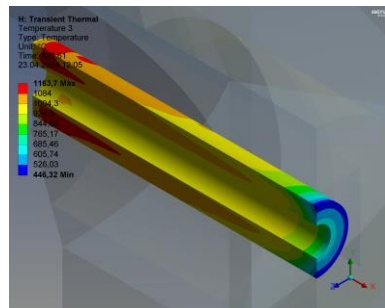


Разность температур в летке по периодам



2. термомеханический подход

напряженно деформированное состояние



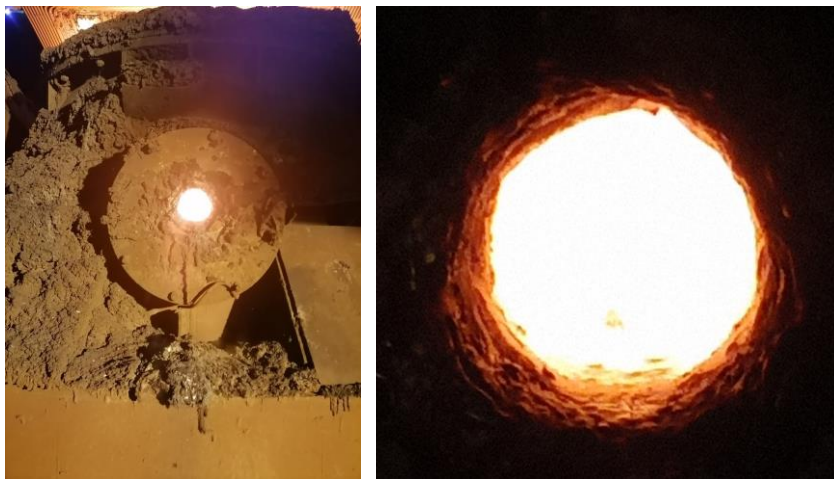
Причиной трещинообразования в огнеупорах являются закритические уровни упругих деформаций при температурах значительно меньших начала деформации под нагрузкой.



Эпюры температуры леток для стадий замены, обработки металла и выпуска соответственно.

Эпюры упругих деформаций.

анализ результатов



Зоны и периоды трещинообразования в летке конвертера



- ▶ Уровень упругих деформаций огнеупора леток локально превышает критический в разные периоды ее эксплуатации.
- ▶ Рост трещины происходит вблизи рабочей поверхности футеровки на стадиях замены летки и обработки плавки.
- ▶ При выпуске плавки есть вероятность роста хрупких трещин в окрестности внешнего конца летки.



З

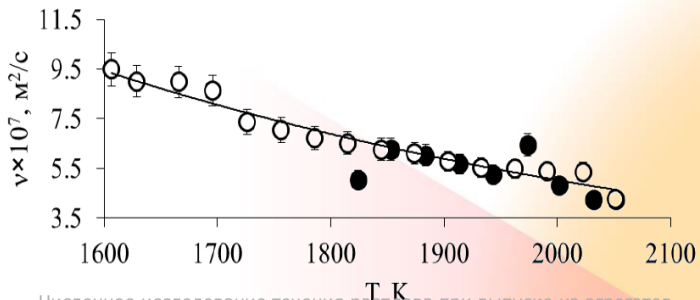
гидродинамический ПОДХОД

3. гидродинамический подход

условия задачи

Параметры истечения металла в летках

- ▶ Уровень металла в агрегате
- ▶ Температура (вязкость и плотность) расплава
- ▶ Форма канала летки
- ▶ угол наклона летки к вертикали



Численное исследование течения расплава при выпуске из агрегатов

Какие параметры определяют решение и что может показать гидродинамическое моделирование



В результате определяется:

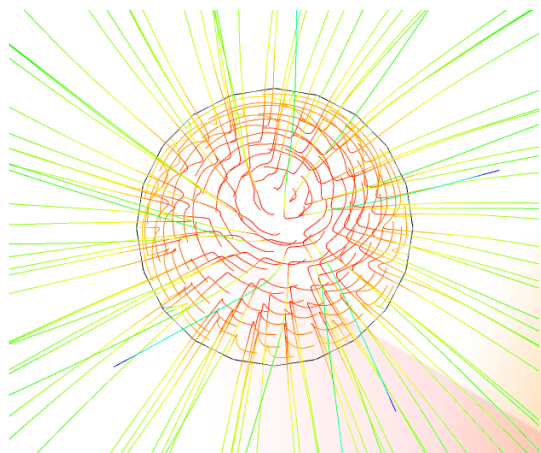
- ▶ профиль скорости потока в летке;
- ▶ наличие вихрей при течении расплава;
- ▶ касательные напряжения на поверхности огнеупора.

моделирование образования вихрей

Появление вихрей при выпуске металла приводит к попаданию шлака в летку и в конечный продукт.



Прямая летка

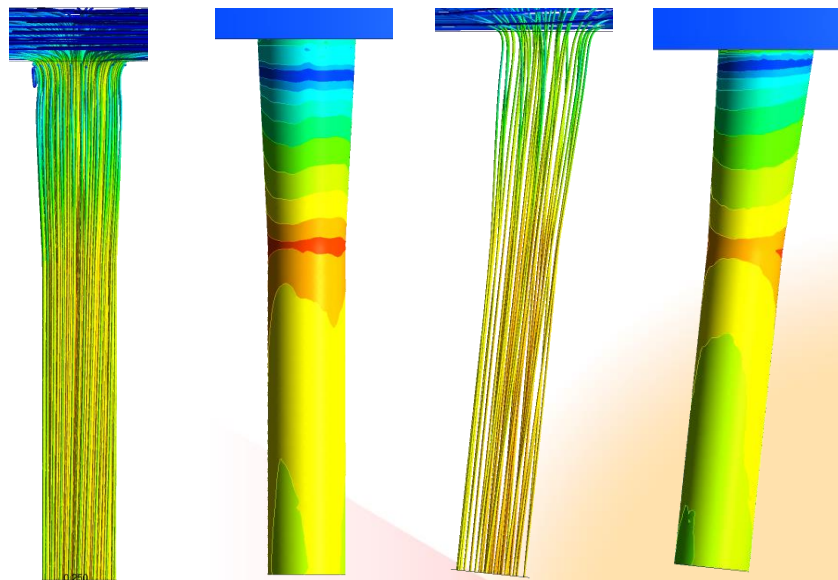


Фасонная летка



- ▶ Геометрическая форма выпускного канала может выступать в качестве эффективного средства гашения вихрей.
- ▶ В рамках исследования установлено, что образование вихря может быть решено в квазистатической постановке задачи, то есть на рабочей станции.

воздействие на стенку канала



В рамках гидродинамического моделирования определяются касательные напряжения на границе канала



Уровень касательных напряжений составляет

30–40кПа

Много это или мало?



4

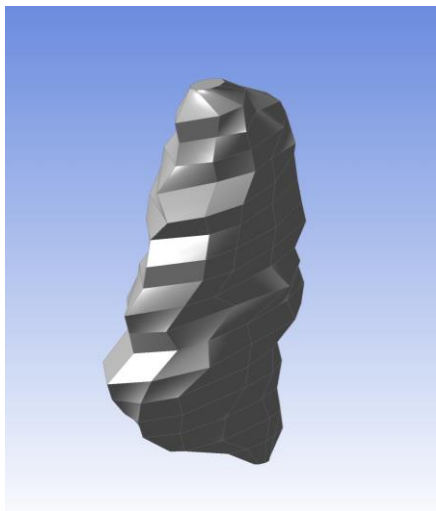
эрозия поверхности

определение

При эрозии происходит разрушение поверхности канала путем механического воздействия движущегося расплава



Усредненная форма зерна огнеупорного материала



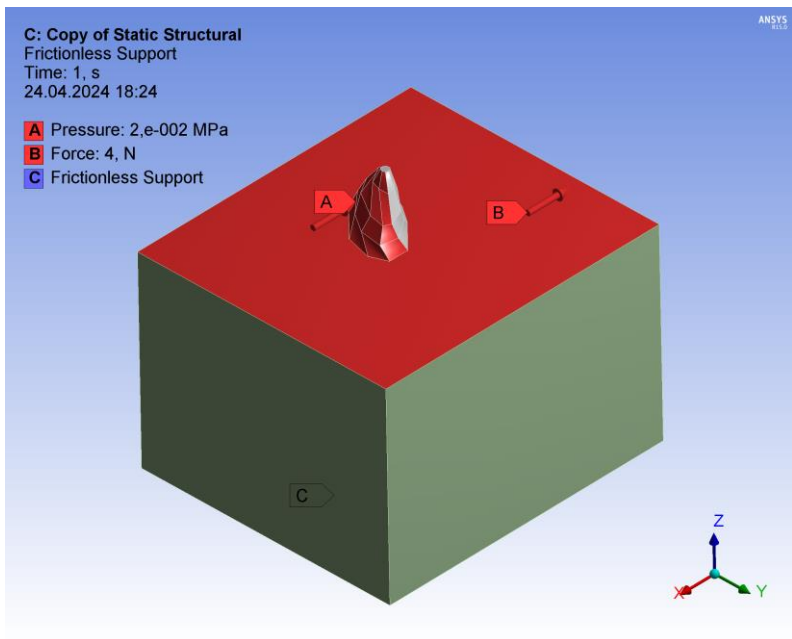
Налипание расплава на размытую поверхность



Целью данного этапа было:

- ▶ выявление соответствия между касательными напряжениями на поверхности канала и нормальными напряжениями в объеме огнеупора;
- ▶ влияние «выступающих» зерен на локальные концентраторы напряжений за счет гидродинамического давления.

условия задачи



В качестве условий задачи использовали модели структуры материала и параметры потока расплава

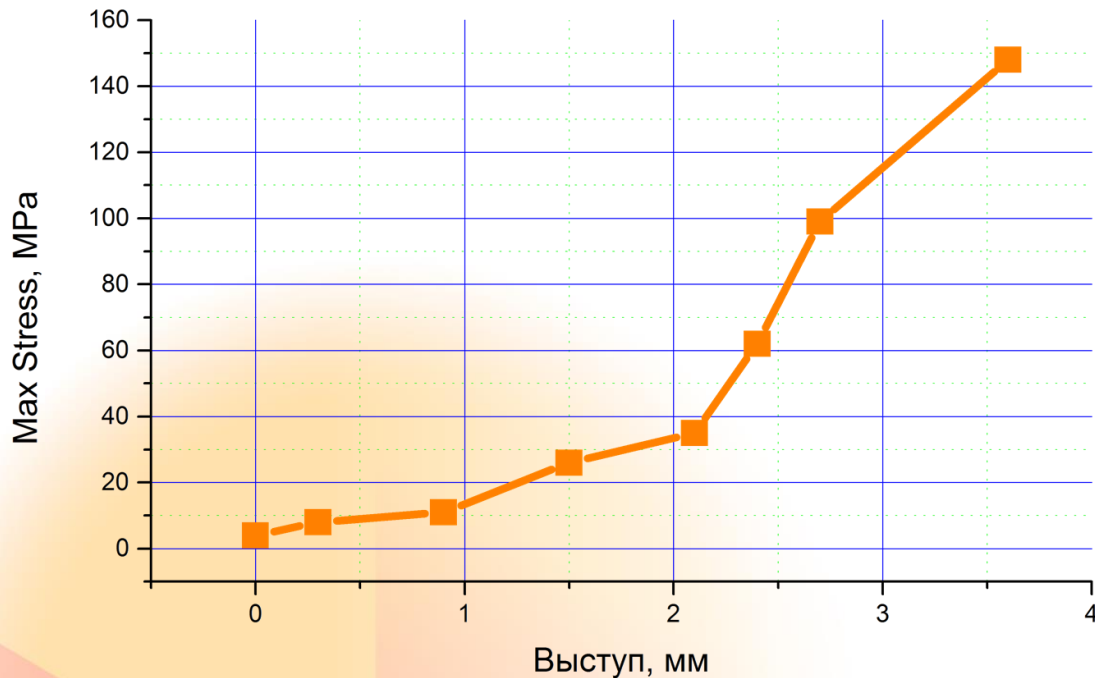
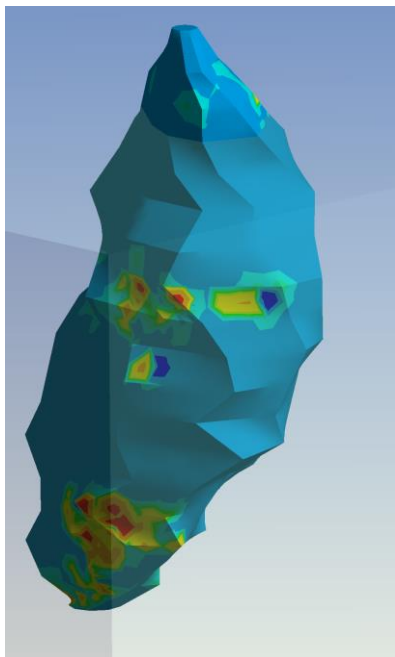


На рисунке показаны:

- ▶ А – гидродинамическое воздействие потока на выступающее зерно;
- ▶ В – сила, соответствующая касательным напряжениям на поверхности канала.

локальное НДС

В результате действия рассмотренных факторов на границе раздела фаз возникают значительные напряжения



благодарность



ИФПМ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Благодарим за сотрудничество коллег из Института Физики Прочности и Материаловедения Сибирского отделения РАН, г. Томск



д.ф-м.н. А.И. Дмитриева
м.н.с. А.С. Григорьева
д.ф-м.н. Е.В. Шилько
к.ф-м.н. А.С. Буякова



ВЫВОДЫ

- ▶ Исследован комплекс факторов, влияющих на скорость износа огнеупоров сталевыпускных каналов металлургических агрегатов: термоудар, абразивное действие расплава и геометрическая форма изделий.
- ▶ Установлена локализация и временной интервал появления дефектов при термоударах.
- ▶ Рассчитаны напряжения, возникающие в огнеупоре при воздействии потока расплава.
- ▶ Расчетным путем установлена динамика эрозии при изменении шероховатости поверхности канала.

спасибо

КОНТАКТЫ:

+7 (35161) 4-12-12

azabolotskiy@magnezit.com



[сайт Группы Магнезит](#)