ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Разработка модели прогноза и управления процессом формирования и удаления неметаллических включений на технологических этапах производства НЛЗ

АО «НПО «ЦНИИТМАШ»

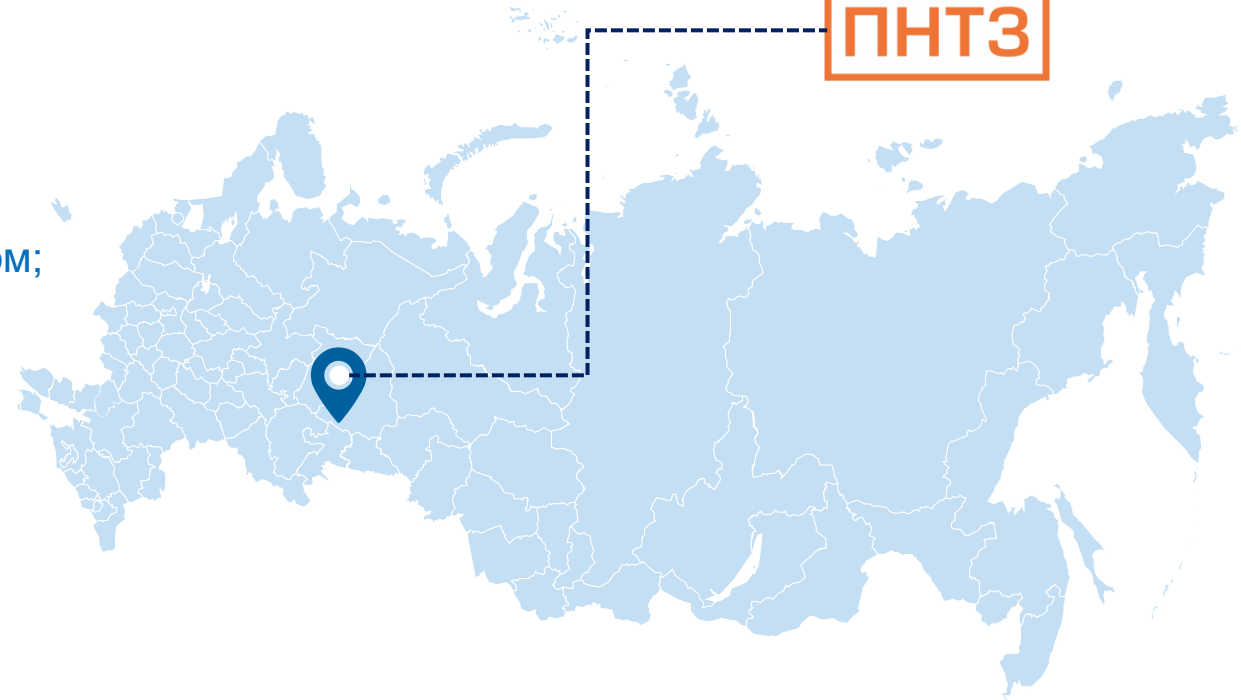
Мальгинов Антон Николаевич
Заведующий лабораторией

07.09.2023

Цель работы

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Определение возможности разработки модели прогноза и управления процессом формирования и удаления неметаллических включений по ходу выплавки, внепечной обработки и разливки стали для принятых и перспективных схем производства стали на АО «ПНТЗ»



Обеспечение гарантированного уровня свойств и качества изделий может быть достигнуто за счет:

- контроля и управления технологическим процессом;
- проведения на основании учета фактических значений комплекса технологических параметров предиктивного анализа возникновения дефектов, влияющих на качество заготовки и труб на этапах технологического передела;
- проведения углубленных аналитических исследований для анализа причин возникновения брака, выявления резервов производства, повышения качества продукции

Методология

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

- оценка влияния с помощью методов машинного обучения каждой стадии технологического процесса (выплавка, обработка металла на установке АКП, разливка на МНЛЗ) на количество сформировавшихся НВ и вызванных их присутствием различных видов брака готовой продукции. Выявление существенно влияющих признаков для каждой стадии процесса и определение для них оптимальных областей значений;
- разработка предварительных моделей, позволяющих прогнозировать выявленные существенные признаки в реальном времени на основе имеющейся технологической информации;
- оценка влияния расчетных по моделям признаков на количество сформировавшихся НВ и вызванных их присутствием различных видов брака готовой продукции;
- оценка влияния расчетных по моделям признаков предыдущей стадии технологического процесса на расчетные признаки следующей стадии процесса;
- определение оптимальных областей значений для расчетных признаков и реальных параметров технологического процесса с целью выработки конкретных рекомендаций ведения и коррекции процесса;
- оценка эффективности предложенного комплекса предварительных моделей в совокупности с рекомендуемыми параметрами технологического процесса с точки зрения снижения содержания НВ и вызванных их присутствием случаев возникновения брака



Концепция проекта

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Физическая модель

Статистическая модель

- ❑ физико-химические законы, описывающие термодинамику и кинетику процессов:
  - расчет количества шлака;
  - расчет распределения и содержания фосфора;
  - расчет распределения и содержания серы;
  - расчет вводимых легирующих элементов;
  - расчет количества алюминия на раскисление стали;
  - расчет десульфурации и др.
- ❑ закон сохранения массы;
- ❑ закон сохранения энергии

Ансамбль моделей

- Модель 1 (продукт)
- Модель 2 (продукт)
- Модель n (продукт)

Выполнение на основе методов машинного обучения анализа параметров технологического процесса, выявление их влияния на моделируемую величину, отбор наиболее значимых и выстраивание моделей с разной степенью значимости, которые консолидируются в ансамбли, повышающие уровень прогнозности и устойчивости их работы

+ компьютерное моделирование

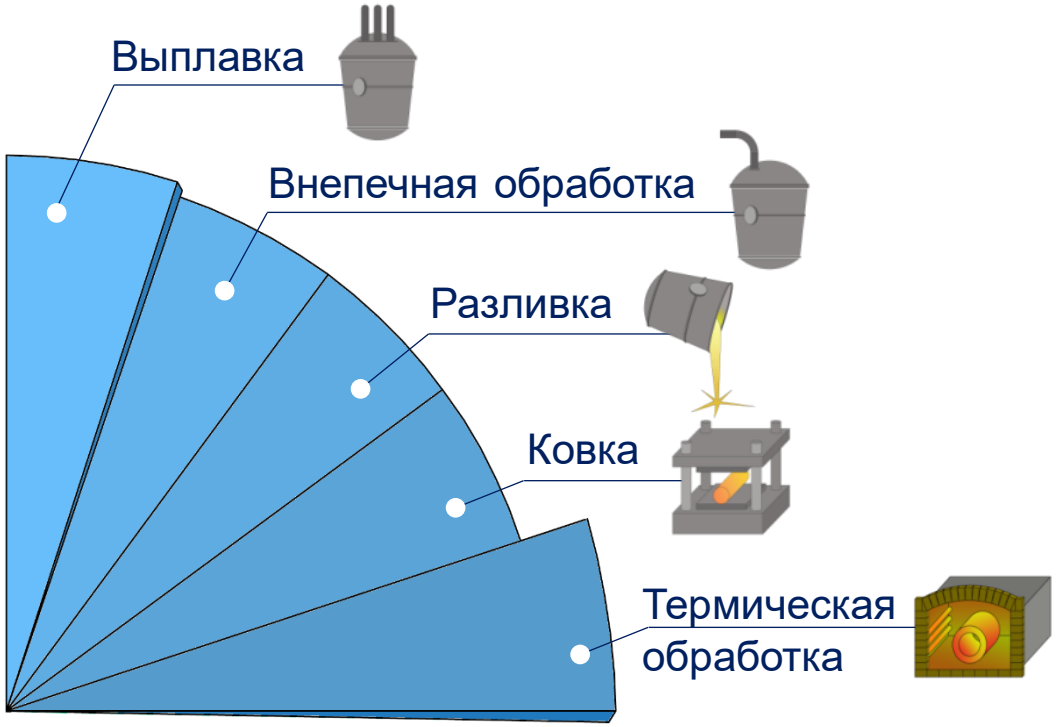
Способы машинного обучения:

- ❑ k-ближайших соседей;
- ❑ лес деревьев;
- ❑ градиентный бустинг;
- ❑ линейная регрессия и др.

python

Java

Существующее решение

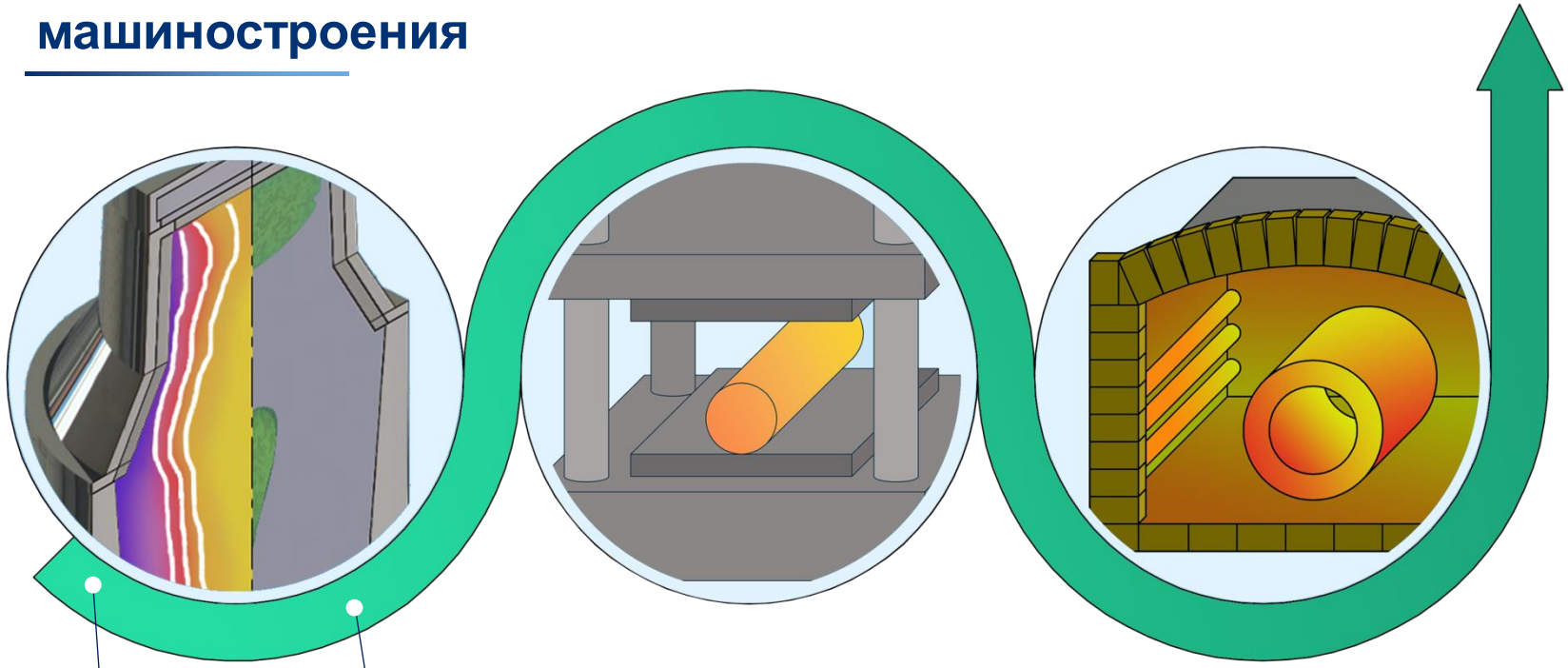


ПРОГНОЗ
КОНТРОЛЬ
УПРАВЛЕНИЕ

Концепция проекта. Сквозное моделирование

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Существующее решение для машиностроения



Реализация сквозного моделирования

Характеристики «заданного состояния»

- Физическая неоднородность
- Структурная неоднородность
- Химическая неоднородность

BIG DATA

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Источники формирования базы данных для обучения моделей

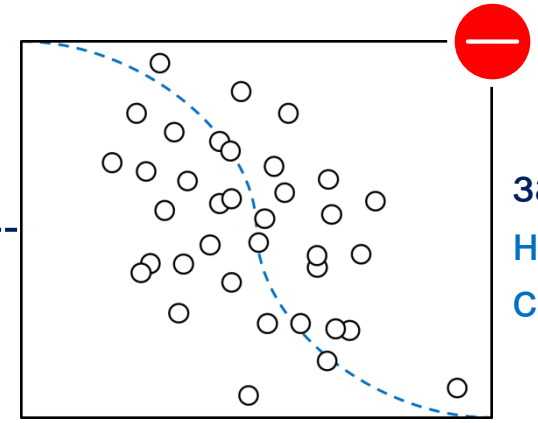
ПЛАВКИ (ДСП и АКП):

Период: 2020…2022 годы
Количество: 27851
(2965 – с браком по НВ)

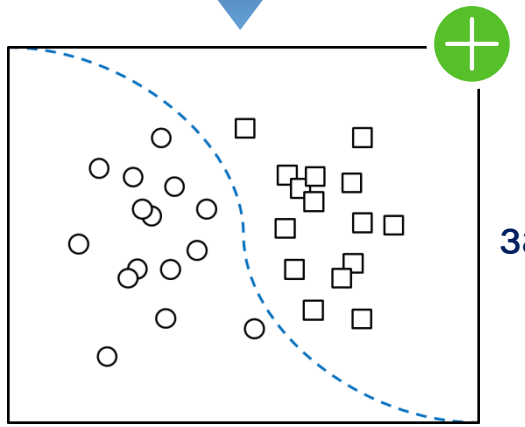
ПРОКАТКА:

Период: 2020…2022 годы
Выборки по браку: 4 стана
(30-102, 140, 160, 220)





задача регрессии:
низкая прогнозная способность



задача классификации

Оценка значимых параметров процессов. Тест

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Выплавка полупродукта в ДСП

СИЛИКАТЫ НЕДЕФОРМИРУЕМЫЕ



Оценка значимых параметров процессов. Тест

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Обработка стали на АКП

СИЛИКАТЫ НЕДЕФОРМИРУЕМЫЕ

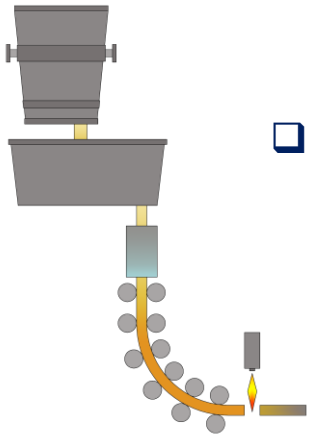


Оценка значимых параметров процессов. Тест

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Разливка стали на МНЛЗ

- превышение среднего значения параметра эрозии -6 мм/период способствует повышению содержания НВ и случаев возникновения дефектов;
- при значениях параметра зарастания, близких к нулю, количество НВ возрастает. Далее с ростом зарастания количество НВ снижается, но, начиная с величины 10…15 мм/период, имеет место рост НВ и случаев возникновения брака за счет увеличения случаем смывов отложений;
- скорость разливки на установке НЛЗ. Для диаметра заготовок 145, 150, 156 мм предпочтительна скорость 3,5…4 м/мин, для диаметров 170, 180 и 220 мм – 2,5…3 м/мин (для среднеуглеродистого сортамента);
- превышение максимального отклонение уровня металла в кристаллизаторе от среднего 5…7 мм ведет к увеличению уровня загрязненности НВ и возникновения случаев брака;
- превышение изменения равновесного содержания кислорода в металле при кристаллизации 0,6 ppm ведет к увеличению уровня загрязненности НВ и возникновения случаев брака



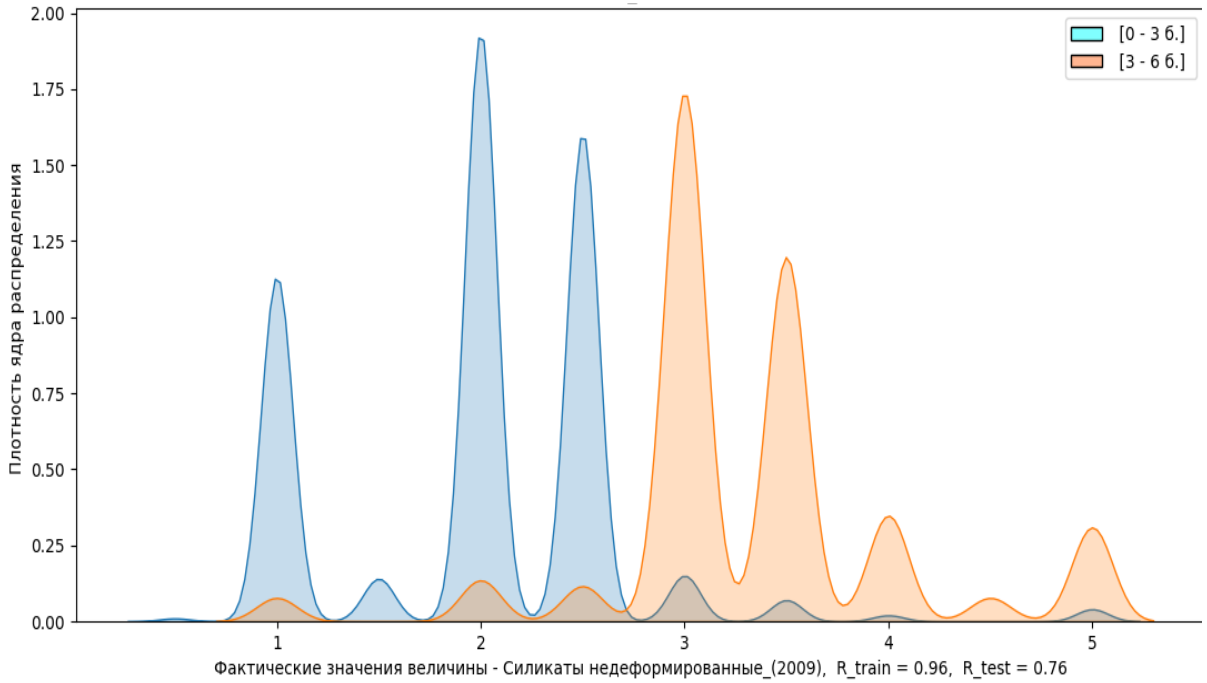
Построение моделей

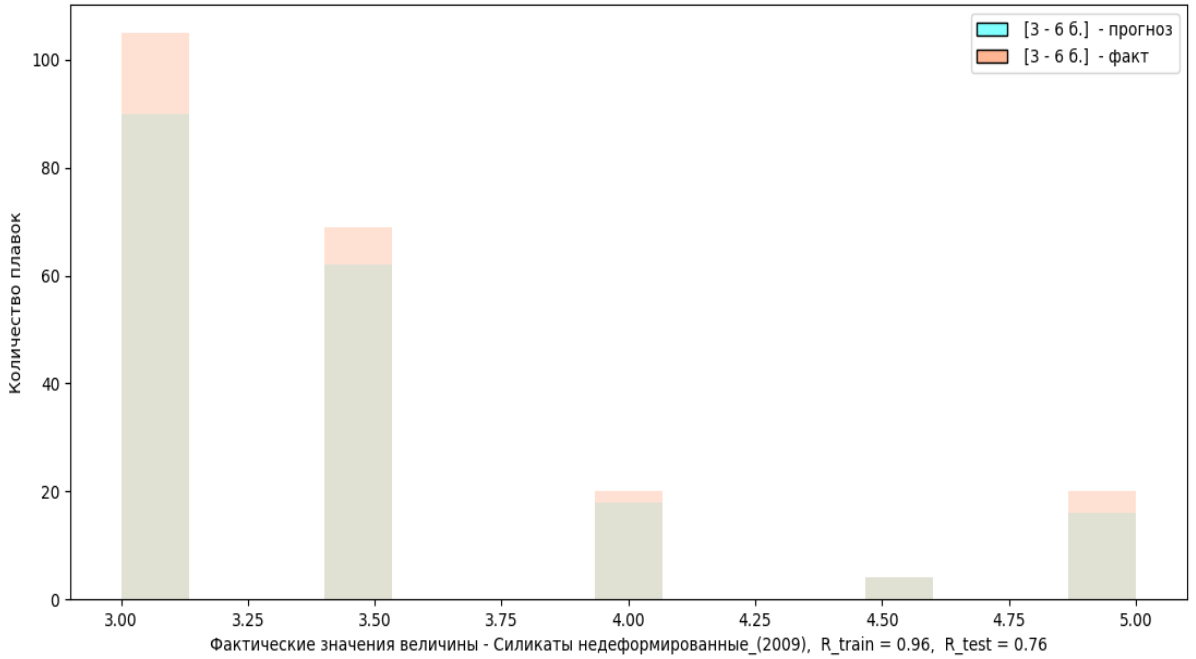
ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ

Прогноз формирования и удаления НВ на базе классификационных методов

Неметаллические включения. Сталь 06Х1ФБ

0…3 балла **3…6 баллов**





ВЫВОДЫ

ЦНИИТМАШ
РОСАТОМ



1. Выявлены основные признаки технологических процессов выплавки полупродукта в ДСП, обработки стали на АКП и ее разливки на МНЛЗ, влияющие на формирование НВ
2. На базе регрессионных методов машинного обучения построены модели прогноза наличия неметаллических включений в зависимости технологических признаков металлургического передела. Разработанные модели имеют достаточно высокую степень достоверности описания процессов формирования и удаления неметаллических включений на обучающем наборе данных (коэффициенты корреляции 0,8…0,9), однако на тестовых наборах данных показали низкую прогностическую способность (коэффициент корреляции 0,1…0,2). Это позволило прийти к выводу о том, что использование регрессионных моделей для прогноза и управления наличием неметаллических включений в металле НЛЗ не представляется возможным
3. На базе классификационных методов машинного обучения построены модели прогноза наличия неметаллических включений в зависимости технологических признаков металлургического передела. Разработанные модели имеют достаточно высокую степень достоверности описания процессов формирования и удаления неметаллических включений на обучающем наборе данных (коэффициент детерминации 0,9…1), а также на тестовых наборах данных (коэффициент детерминации 0,76…0,8). Количество правильно предсказанных плавок с повышенной загрязненностью НВ в пределах 3…6 балла составляет свыше 90 % от фактического количества плавок с НВ в пределах 3…6 балла
4. Построенные модели образования и удаления НВ при изготовлении труб обладают высокой степенью достоверности, прогностической способности и могут быть использованы для управлениями процессами производства НЛЗ с заданным уровнем чистоты по НВ, изготовления труб требуемого уровня качества

Спасибо за внимание !

Мальгинов Антон Николаевич

ANMalginov@cniitmash.com

07.09.2023