

ANALYTICKÉ MODELOVANIE PREDIKCIE OBSAHU DUSÍKA V SUROVOM ŽELEZE A TEKUTEJ OCELI POČAS PROCESU VÝROBY OCELE

Ing. Jaroslav Demeter, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta materiálov, metalurgie a recyklácie
Inštitút metalurgických technológií a digitálnej transformácie

Modelovanie v štyroch kľúčových fázach v rámci výrobného cyklu

Analýza sa zameriava na **vytvorenie modelov, slúžiacich na predpovedanie množstva dusíka rozpusteného v kove** počas štyroch kľúčových technologických fáz výroby ocele v konvertore.

1. Stanovenie množstva dusíka **v surovom železe po jeho odsírení (N_{Des})**
2. Stanovenie množstva dusíka **v surovej oceli pred jej odpichom z konvertora (N_{BOF})**
3. Stanovenie množstva dusíka **v oceli na začiatku mimopecného spracovania (N_{SMB})**
4. Stanovenie množstva dusíka **v oceli na konci mimopecného spracovania (N_{SME})**

ANALYTICKÉ MODELOVANIE PREDIKCIE OBSAHU DUSÍKA V SUROVOM ŽELEZE A TEKUTEJ OCELI POČAS PROCESU VÝROBY OCELE

Modelovanie v štyroch kľúčových fázach v rámci výrobného cyklu

Analýza sa zameriava na **vytvorenie modelov**, slúžiacich na **predpovedanie množstva dusíka rozpusteného v kove** počas štyroch kľúčových technologických fáz výroby ocele v konvertore.



ANALYTICKÉ MODELOVANIE PREDIKCIE OBSAHU DUSÍKA V SUROVOM ŽELEZE A TEKUTEJ OCELI POČAS PROCESU VÝROBY OCELE

Modely sú zamerané na nasledujúce značky ocele:

- Konštrukčná oceľ s viac ako 0,80% Mn a stanoveným minimálnym obsahom Al,
- Hlbokotažné ocele so špecifickým obsahom Al.

Chemické zloženie	Značka ocele	
	Produkt #1	Produkt #2
C (%)	0,07–0,21	0,02–0,1
Mn (%)	0,8–1,6	0,1–0,55
Si (%)	0,03–0,6	max. 0,08
Al (%)	min. 0,02	0,02–0,07
P (%)	max. 0,025	0,01–0,07
S (%)	max. 0,020	max. 0,020
Nb (%)	-	0,004–0,0075

Model N_{DeS} je založený na nasledujúcich vstupných parametroch:

- Množstvo dusíka v SŽ [%]
- C v surovom železe [%]
- Mn v surovom železe [%]
- Si v surovom železe [%]
- P v surovom železe [%]
- Síra pred odsírením [%]
- Síra po odsírení [%]
- Teplota pred odsírením [°C]
- Teplota po odsírení [°C]
- Hmotnosť SŽ pred odsírením [kg]
- Hmotnosť SŽ po odsírení [kg]
- Hmotnosť odsírovacej trosky [kg]
- Hmotnosť odsírovacej zmesi [kg]
- Čas fúkania dusíka [s]
- Množstvo fúkaného dusíka [l]

Celkovo 15 vstupných parametrov

Model N_{BOF} je založený na nasledujúcich vstupných parametroch:

- Množstvo dusíka v oceli [%]
- C v surovej oceli [%]
- Mn v surovej oceli [%]
- P v surovej oceli [%]
- S v surovej oceli [%]
- Fe v troske [%]
- MnO v troske [%]
- SiO₂ v troske [%]
- Al₂O₃ v troske [%]
- CaO v troske [%]
- MgO v troske [%]
- P₂O₅ v troske [%]
- S v troske [%]
- Bazicita trosky [%]
- Čas nalievania SŽ [s]
- Čas fúkania kyslíka [s]
- Čas trvania dofuku [s]
- Čas trvania tavby [s]
- Čas trvania odpichu [s]
- Odpichová teplota ocele [°C]
- Spotreba kyslíka na tavbu [l]
- Spotreba kyslíka na dofuk [l]
- Aktivita kyslíka [-]
- Hmotnosť surového železa [kg]
- Hmotnosť šrotu [kg]
- Hmotnosť vápna [kg]
- Hmotnosť dolomitického vápna [kg]
- Hmotnosť vápenca [kg]
- Hmotnosť peliet [kg]
- Hmotnosť brikiet [kg]
- Hmotnosť krycej trosky #6 [kg]
- Výťažok surovej ocele [%]

Celkovo 32 vstupných parametrov

Model N_{SMB} je založený na nasledujúcich vstupných parametroch:

- Dusík v oceli na začiatku MPO [%]
- C pred miešaním s Ar [%]
- Mn pred miešaním s Ar [%]
- Si pred miešaním s Ar [%]
- P pred miešaním s Ar [%]
- S pred miešaním s Ar [%]
- Hliník (celkový) pred miešaním s Ar [%]
- Teplota ocele (prvá na MPO) [°C]
- Čas trvania odpichu [s]
- Hmotnosť surovej ocele [kg]
- Hmotnosť trosky v panve [kg]
- Uhol odpichu [°]

Celkovo 12 vstupných parametrov

Model N_{SME} je založený na nasledujúcich vstupných parametroch:

- Dusík v oceli na konce MPO [%]
- Al (bloky) [kg]
- Al (drôt) [kg]
- C v oceli po miešaní s Ar [%]
- Mn v oceli po miešaní s Ar [%]
- Si v oceli po miešaní s Ar [%]
- P v oceli po miešaní s Ar [%]
- S v oceli po miešaní s Ar [%]
- Al (celkový) po miešaní s Ar [%]
- Teplota ocele (posledná na MPO) [°C]
- C po nalegovaní [%]
- Mn po nalegovaní [%]
- Si po nalegovaní [%]
- P po nalegovaní [%]
- S po nalegovaní [%]
- Al (celkový) na konci MPO [%]
- Čas trvania odpichu [s]
- Celkový čas tavby na MPO [min]
- Čas trvania miešania s Ar [min]
- Prietok miešacieho Ar [l.min⁻¹]
- Množstvo miešacieho Ar [m³]
- Prietok Ar na čerenie [l.min⁻¹]
- Čas trvania čerenia s Ar [min]
- Hmotnosť ocele [kg]
- FeMn pridaný počas MPO [kg]
- FeMn aff pridaný počas MPO [kg]
- FeSi pridané počas MPO [kg]
- Prestoj [min]
- Hmotnosť trosky v panve [kg]
- C v oceli na konci MPO [%]
- Mn v oceli na konci MPO [%]
- Si v oceli na konci MPO [%]
- P v oceli na konci MPO [%]
- S v oceli na konci MPO [%]
- Uhol odpichu [°]

Celkovo 35 vstupných parametrov

Prístup k modelovaniu pre dosiahnutie najvyššej presnosti

- Zistenie najvhodnejšieho modelu pre danú fázu výroby
- Získanie najvyššej predikčnej presnosti

Modely sú založené na:

1. **Automatizovanom strojovom učení (AutoML)**

2. **Pokročilom modelovaní pomocou jazyka Python**

(Lineárna regresia, Polynomiálna regresia, Ridge regresia, Desigion tree, Random forest, Feedforward Neural Networks - FNN)

3. **FINÁLNY CIEĽ: Fyzikou poháňané neurónové siete (PINN)**

ANALYTICKÉ MODELOVANIE PREDIKCIE OBSAHU DUSÍKA V SUROVOM ŽELEZE A TEKUTEJ OCELI POČAS PROCESU VÝROBY OCELE

	STROJOVÉ UČENIE (AutoML)	RIDGE REGRESIA	RANDOM FOREST	NEURÓNOVÉ SIETE (FNN)
Presnosť modelu Fáza 1 - N_{DeS}	85,39%	84,59%	82,52%	78,70%
Presnosť modelu Fáza 2 - N_{BOF}	79,37%	65,56%	70,85%	79,77%
Presnosť modelu Fáza 3 - N_{SMB}	78,92%	74,78%	76,66%	79,01%
Presnosť modelu Fáza 4 - N_{SME}	79,72%	84,04%	81,30%	80,35%

Aktuálna odchýlka predikcie od reálne nameranej strednej hodnoty dusíka

- **Model N_{DeS} :** ~ **5,5 ppm** dusíka v surovom železe
- **Model N_{BOF} :** ~ **4,4 ppm** dusíka v surovej oceli
- **Model N_{SMB} :** ~ **5,8 ppm** dusíka v oceli
- **Model N_{SME} :** ~ **5,4 ppm** dusíka v oceli

Presnosť modelov je možné zvýšiť **zväčšením balíka dát určeného na trénovanie modelu.**

Existujúce modely je možné **prispôbiť pre špecifické značky ocele.**

Vytvorený algoritmus pre predikciu množstva dusíka v kove **je možné modifikovať špecifikám výroby ocele v elektrickej oblúkovej peci (EAF).**

ANALYTICKÉ MODELOVANIE PREDIKCIE OBSAHU DUSÍKA V SUROVOM ŽELEZE A TEKUTEJ OCELI POČAS PROCESU VÝROBY OCELE

PLÁN SPOLUPRÁCE:

1. Vytvorenie modelu pre **vákuované IF ocele**, so zmapovaným obsahom dusíka.
2. Vytvorenie modelov pre **ostatné triedy ocelí**.
3. Rozšírenie modelov pre **Fázu 5 → ZPO**.



13

Ďakujem za pozornosť