



POLISH ACADEMY OF SCIENCES - COMMITTEE OF MATERIALS SCIENCE  
SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF GLIWICE  
INSTITUTE OF ENGINEERING MATERIALS AND BIOMATERIALS  
ASSOCIATION OF ALUMNI OF SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Conference  
Proceedings

12th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

## ACHIEVEMENTS IN MECHANICAL & MATERIALS ENGINEERING

Wpływ składu chemicznego i szybkości chłodzenia na postać anizotermicznych krzywych przemian austenitu obliczonych na podstawie modelu sieci neuronowych\*

L.A Dobrzański<sup>#</sup>, J. Trzaska<sup>#</sup>

Zakład Technologii Procesów Materiałowych i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, Poland

W pracy przedstawiono przykłady zastosowania narzędzia opracowanego dla prognozowania wykresów CTPc wykorzystującego sieci neuronowe. Prezentowane przykłady ilustrują możliwość przeprowadzenia symulacji komputerowej pozwalającej na ocenę wpływu pierwiastków stopowych na dowolną wielkość prezentowaną na anizotermicznym wykresie przemian austenitu przechłodzonego.

### 1. WPROWADZENIE

Sztuczne sieci neuronowe, jako uniwersalne narzędzie do modelowania numerycznego, są często stosowane do rozwiązywania praktycznych zadań w tak różniących się od siebie obszarach jak medycyna, ekonomia, fizyka czy zastosowania inżynierskie. Istotną zaletą sieci neuronowych jest stosunkowo prosty sposób budowy modelu analizowanego zjawiska pod warunkiem zgromadzenia odpowiedniej liczby danych doświadczalnych. Zainteresowanie sieciami neuronowymi rośnie również w obszarze inżynierii materiałowej, a proponowane z ich wykorzystaniem rozwiązania, bardzo często wykazują większą zgodność z modelowaną rzeczywistością od zależności empirycznych lub modeli matematycznych. Zdolność do generalizacji, czyli uogólniania wiedzy dla nowych, nie prezentowanych w trakcie nauki danych sprawia, iż nie jest konieczna znajomość fizycznego modelu opisywanych zjawisk.

Jako podstawowe narzędzie w opracowanej, oryginalnej metodzie prognozowania wykresów CTPc dla stali o założonym składzie chemicznym wykorzystano sieci neuronowe [1-5]. Wyniki obliczeń dwudziestu modeli zbudowanych przy pomocy sieci neuronowych, przetworzone przez zbiór reguł, tworzą dane wystarczające do prezentacji przemian austenitu przechłodzonego podczas chłodzenia ciągłego w układzie temperatura-czas. Wspomniana metoda umożliwia ponadto przeprowadzenie analizy wpływu składu

---

\* Autorzy uczestniczą w realizacji projektu CEEPUS No PL-013/03-04 kierowanego przez Prof. L.A. Dobrzańskiego

# Praca została częściowo wykonana w ramach projektu badawczego nr 4 T08A 009 23 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych

chemicznego na wybraną temperaturę przemiany, czas do rozpoczęcia przemiany lub twardość uzyskaną po ochłodzeniu stali z temperatury austenitowania.

## 2. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Wykorzystane w niniejszej pracy modele sieci neuronowych umożliwiają przeprowadzenie symulacji komputerowej wpływu składu chemicznego, temperatury austenitowania i/lub szybkości chłodzenia na wybraną wielkość opisującą przemianę austenitu podczas chłodzenia ciągłego:

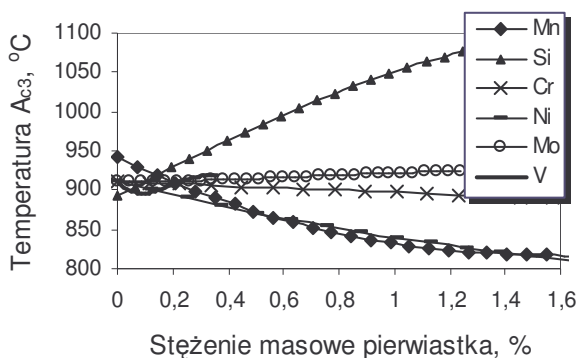
- temperaturę przemiany eutektoidalnej przy nagrzewaniu  $A_{c1}$ ,
- temperaturę przemiany ferrytu w austenit przy nagrzewaniu  $A_{c3}$ ,
- temperaturę początku przemiany bainitycznej  $B_s$ ,
- temperaturę początku przemiany martenzytycznej  $M_s$ ,
- czas odpowiadający najmniejszej trwałości austenitu w zakresie wartości temperatury charakterystycznych dla występowania obszaru ferrytu,
- czas odpowiadający najmniejszej trwałości austenitu w zakresie wartości temperatury charakterystycznych dla występowania obszaru perlitu,
- czas do rozpoczęcia przemiany bainitycznej odpowiadający punktowi najmniejszej trwałości austenitu przechłodzonego w zakresie bainitycznym,
- temperaturę początku i końca obszaru występowania ferrytu przy danej szybkości chłodzenia,
- temperaturę początku i końca obszaru występowania perlitu przy danej szybkości chłodzenia,
- temperaturę początku i końca obszaru występowania bainitu przy danej szybkości chłodzenia,
- temperaturę początku przemiany martenzytycznej przy danej szybkości chłodzenia,
- twardość stali chłodzonej z temperatury austenitowania z określoną szybkością,
- udział ferrytu, perlitu, bainitu, martenzytu w strukturze stali ochłodzonej z temperatury austenitowania z określoną szybkością.

Ograniczenia dla stężeń masowych poszczególnych pierwiastków przedstawiono w tabelicy 1. Dodatkowe założenie stanowi, iż suma stężeń masowych manganu, chromu, niklu i molibdenu nie przekracza 5%. Na rysunkach 1-8 przedstawiono przykłady wykresów ilustrujących wpływ poszczególnych pierwiastków stopowych na wartości temperatury  $A_{c3}$ ,  $M_s$ ,  $B_s$ , czas do rozpoczęcia przemiany bainitycznej oraz wpływ par pierwiastków na wartość temperatury początku wydzielania ferrytu  $F_s$  przy założonej szybkości chłodzenia i ustalonym stężeniu pozostałych składników.

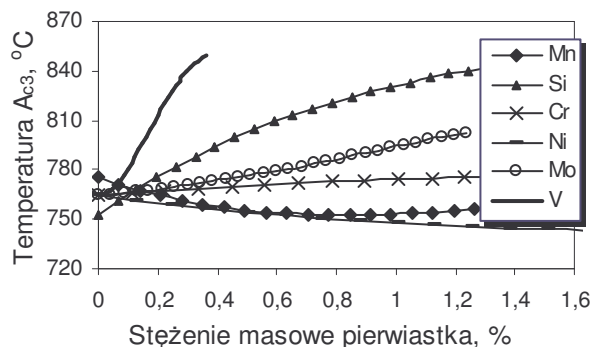
Tablica 1

Zakres stężeń masowych pierwiastków ograniczający możliwość zastosowania prezentowanego modelu

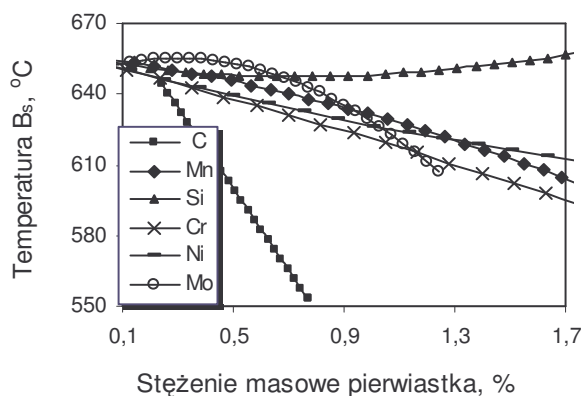
Zakres	Stężenie masowe pierwiastków, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Cu
min.	0,08	0,13	0,12	0	0	0	0	0
maks.	0,77	2,04	1,90	2,08	3,65	1,24	0,36	0,3



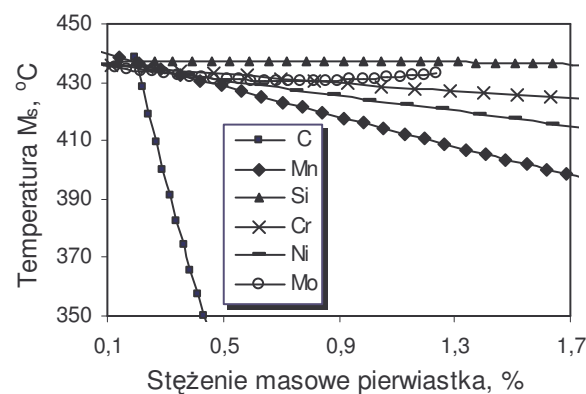
Rysunek 1. Wpływ pierwiastków stopowych na temperaturę  $A_{c3}$  stali o stężeniu: 0,1%C, 0,2%Mn, 0,1%Si.



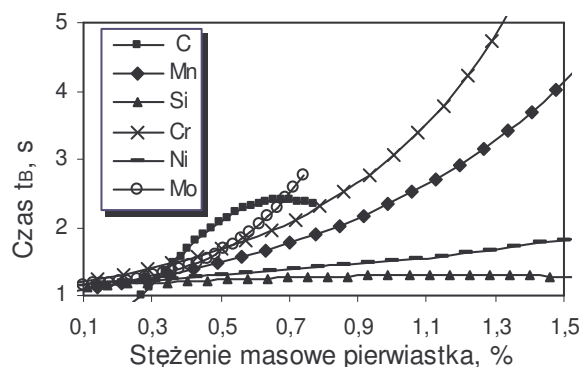
Rysunek 2. Wpływ pierwiastków stopowych na temperaturę  $A_{c3}$  stali o stężeniu: 0,5%C, 0,2%Mn, 0,1%Si.



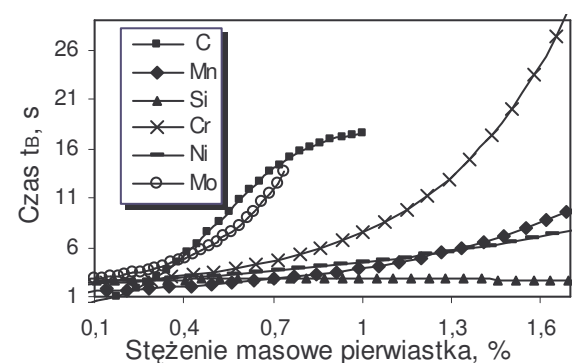
Rysunek 3. Wpływ pierwiastków stopowych na temperaturę  $B_s$  stali o stężeniu pozostałych składników: 0,2%C, 0,2%Mn, 0,15%Si, 0,05%Cr, 0,05%Ni, 0,05%Mo.



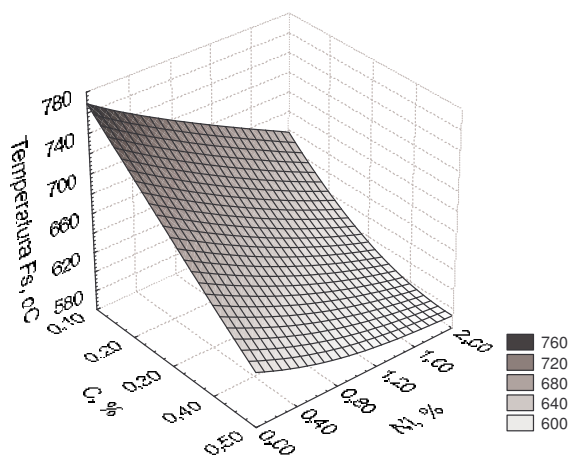
Rysunek 4. Wpływ pierwiastków stopowych na temperaturę  $M_s$  stali o stężeniu pozostałych składników: 0,2%C, 0,2%Mn, 0,15%Si, 0,05%Cr, 0,05%Ni, 0,05%Mo.



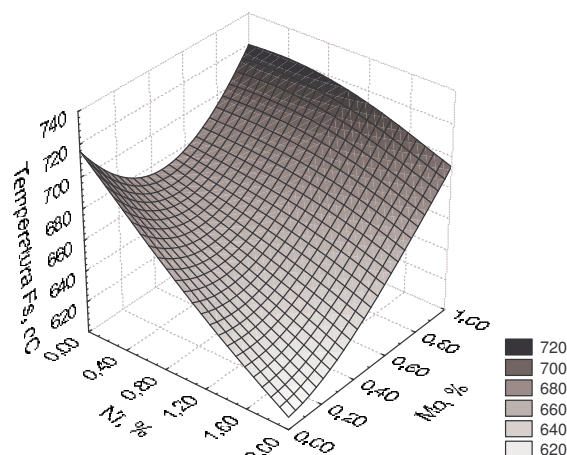
Rysunek 5. Wpływ pierwiastków stopowych na czas  $t_B$  stali o stężeniu pozostałych składników: 0,3%C, 0,2%Mn, 0,15%Si, 0,05%Cr, 0,05%Ni, 0,05%Mo.



Rysunek 6. Wpływ pierwiastków stopowych na czas  $t_B$  stali o stężeniu pozostałych składników: 0,3%C, 0,7%Mn, 0,5%Si, 0,3%Cr, 0,3%Ni, 0,1%Mo.



Rysunek 7. Wpływ węgla i niklu na temperaturę  $F_s$  stali o stężeniu: 1,06% Mn, 0,21% Si, 0,79% Cr, 0,02% Mo, 0,1% V; chłodzonej z szybkością 350°/min.



Rysunek 8. Wpływ niklu i molibdenu na temperaturę  $F_s$  stali o stężeniu: 0,24% C, 1,06% Mn, 0,21% Si, 0,79% Cr, 0,1% V; chłodzonej z szybkością 350°/min.

### 3. PODSUMOWANIE

Synergia oddziaływania pierwiastków stopowych na przemiany austenitu podczas chłodzenia ciągłego sprawia, że rozpatrywanie wpływu pojedynczych pierwiastków nie oddaje w pełni ich rzeczywistego działania. Narzędzia sztucznej inteligencji, w tym sieci neuronowe, umożliwiają częściowe zastąpienie kosztownych i czasochłonnych badań doświadczalnych przez symulację komputerową i wykorzystanie uzyskanych wyników jako danych do dalszych analiz. Opracowanie odpowiedniego modelu obliczeniowego umożliwia rozpatrywanie wpływu nie tylko pojedynczego pierwiastka, ale również pary pierwiastków stopowych przy ustalonym na dowolnym, mieszczącym się w przyjętym zakresie stężeń, poziomie pozostałych składników. Przykłady wykresów opracowanych na podstawie zaplanowanych statystycznie eksperymentów numerycznych ilustrujących wpływ odpowiednio: par pierwiastków utworzonych przez węgiel, mangan, krzem, chrom, nikiel, molibden i wanad na temperaturę  $A_{c3}$  oraz węgla i kolejno czterech pierwiastków stopowych: manganu, chromu, niklu i molibdenu na czas do rozpoczęcia przemiany banitycznej przedstawiono w pracy [1].

### LITERATURA

1. J. Trzaska, Metodyka komputerowego modelowania kinetyki przemian austenitu przechłodzonego stali konstrukcyjnych, praca doktorska niepublikowana, Bibl. Gł. Pol. Śl., Gliwice 2002.
2. L.A. Dobrzański, J. Trzaska, Proc. 11th Int. Sc. Conf. "Achievements in Mechanical and Materials Engineering AMME'2001", Gliwice-Zakopane (2002) 143.
3. L.A. Dobrzański, J. Trzaska, Proc. 2nd Int. Conf. on Advanced Materials Processing ICAMP 2002, Singapur (2002), 359.
4. L.A. Dobrzański, J. Trzaska, Inżynieria Materiałowa, 6 (2003) 291.
5. L.A. Dobrzański, J. Trzaska, Proc. Int. Conf. on Advanced Materials and Processing Technologies AMPT 2003, Dublin (2003).