



## Symulacja komputerowa wpływu składu chemicznego na twardość stali szybko tnących\*

W. Sitek

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 wyniki symulacji komputerowej wpływu pierwiastków stopowych na twardość stali szybko tnących. Do badań symulacyjnych zastosowano model matematyczny opracowany przy wykorzystaniu metody regresji wielokrotnej oraz model sieci neuronowej. Ponadto dokonano porównania ocen wpływu poszczególnych pierwiastków stopowych uzyskanych dla obydwu modeli.

### 1. WPROWADZENIE

Identyfikacja zależności pomiędzy stężeniami składników stopowych a parametrami procesów technologicznych, w szczególności temperaturami, stanowi jeden z podstawowych celów badań inżynierii materiałowej nad metalowymi materiałami inżynierskimi. Znajomość tych zależności jest podstawą w sterowaniu procesami wytwarzania materiałów, oraz w świadomym kształtowaniu ich własności.

Celem badań opisanych w pracy jest opracowanie zależności opisujących wpływ pierwiastków stopowych oraz ich kombinacji na twardość eksperymentalnych stali szybko tnących w zależności od stężenia pozostałych pierwiastków stopowych oraz temperatur obróbki cieplnej dla zastosowaniach w metodzie optymalizacji składu chemicznego stali z wykorzystaniem algorytmów genetycznych [1].

### 2. PRZEBIEG SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

Dla celów symulacji komputerowej oraz opracowania odpowiedniego modelu matematycznego wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych na nowo opracowanych stalach szybko tnących [2], a zakres stężeń pierwiastków stopowych w analizowanych stalach, podano w tablicy 1. Dla celów symulacji komputerowej zastosowano model sieci neuronowej opisany w pracy [3] a także własny model matematyczny twardości stali szybko tnących opisany równaniem (1).

---

\* Autor bierze udział w realizacji projektu Ceepus Nr PL-013/02-03. Praca została częściowo wykonana w ramach projektu badawczego nr T08A 009 23 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Tablica 1

Zakresy stężeń masowych pierwiastków stopowych występujących w analizowanych stalach szybkotnących

| Stężenie pierwiastka | C    | Mn   | Si   | Cr  | W    | Mo  | V   | Ti  | Nb   | Co  |
|----------------------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|
| maksymalne           | 1,1  | 0,63 | 0,78 | 4,7 | 11,5 | 2,4 | 1,8 | 0,6 | 0,95 | 5,2 |
| minimalne            | 0,91 | 0,37 | 0,54 | 4,2 | 8,8  | 0   | 1,3 | 0   | 0    | 0   |

$$\begin{aligned}
 H = a_0 + a_1 \cdot \%C + a_2 \cdot \%Mn + a_3 \cdot \%Si + a_4 \cdot \%Cr + a_5 \cdot \%W + a_6 \cdot \%Mo + a_7 \cdot \%V + \\
 + a_8 \cdot \%Ti + a_9 \cdot \%Nb + a_{10} \cdot \%Co + a_{11} \cdot Ta + a_{12} \cdot To + a_{13} \cdot Ta^2 + a_{14} \cdot To^2 + a_{15} \cdot Ta^3 + \\
 + a_{16} \cdot To^3 + a_{17} \cdot To^2 \cdot Ta^2 + a_{11} \cdot Ta \cdot To
 \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:  $H$  – twardość stali,

$\%X$  – stężenie masowe odpowiedniego pierwiastka,

$Ta$  – temperatura austenitizowania podawana jako  $Ta/1000$ ,

$To$  – temperatura odpuszczania podawana jako  $To/1000$ ,

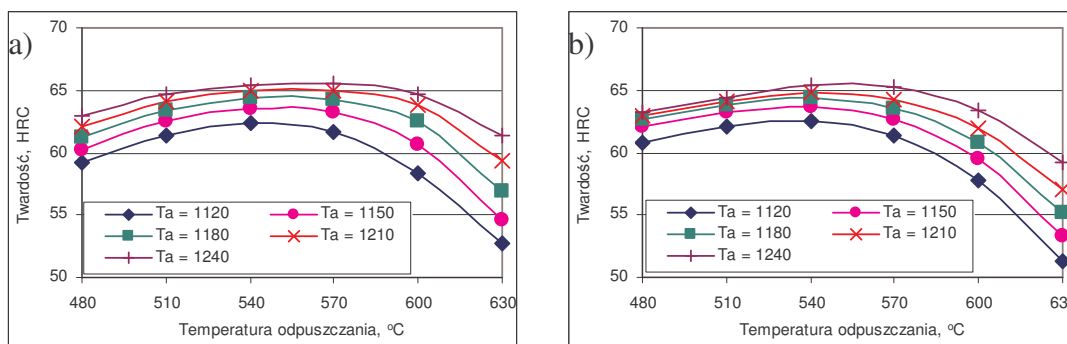
$a_i$  – stałe współczynniki wyznaczone doświadczalnie.

Opracowany model matematyczny (1) oraz sieć neuronowa poddane zostały weryfikacji eksperymentalnej. W przypadku sieci neuronowej wyniki dokładnie przedstawiono w [...]. Weryfikacja modelu matematycznego (1) wskazała, że możliwe jest uzyskiwanie dokładności obliczeń twardości stali na podstawie składu chemicznego i temperatur obróbki cieplnej z dokładnością 0,7 HRC, podczas gdy dla sieci neuronowej wynosi ona 0,5 HRC. Uznano, że są to dokładności wystarczające a opracowane modele adekwatne.

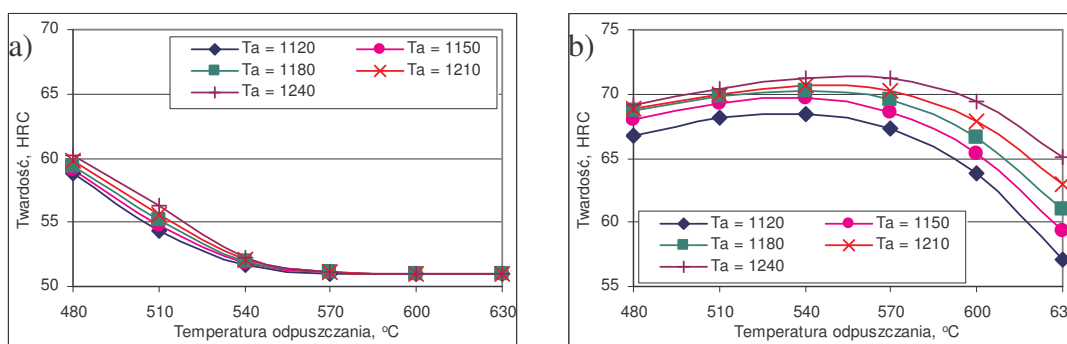
Przyjęto ponadto, że dokładność opracowanych modeli, matematycznego i sieci neuronowych, nie jest wystarczającym kryterium dla uznania pełnej ich zgodności. Dlatego też w pierwszej kolejności dokonano porównania krzywych odpuszczania obliczonych dla hipotetycznych składów chemicznych prezentowanych w tabelach, odpowiadających wykresom krzywych odpuszczania. Do symulacji przyjęto następujące warianty składów chemicznych:

1. średnie stężenia pierwiastków występujących badanej grupie stali, ustalone na podstawie tablicy 1, przyjmując za zerowe stężenia Ti, Nb i Co, jako pierwiastków stanowiących zamienniki innych podstawowych pierwiastków węglotwórczych,
2. górne stężenia wszystkich pierwiastków podanych w tablicy 1,
3. dolne stężenia wszystkich pierwiastków podanych w tablicy 1,
4. średnie stężenia wszystkich pierwiastków podanych w tablicy 1.

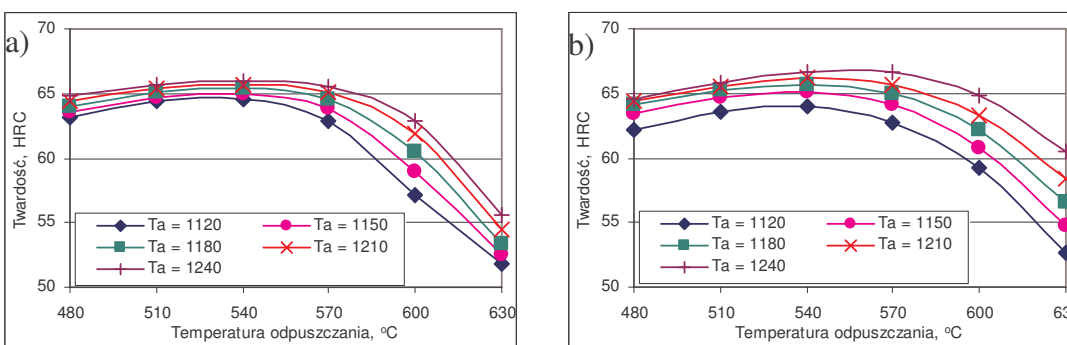
Porównanie wyników symulacji krzywych odpuszczania przedstawiono na rysunkach 1-3. Natomiast symulację wpływu poszczególnych pierwiastków stopowych na twardość wykonano dla stałej i optymalnej temperatury odpuszczania (540 °C) dla tej grupy stali, oraz przyjmując średnie stężenia pierwiastków aktualnie nie analizowanych oraz dla zerowych stężeń Nb, Ti i Co. Wynikało to z diametralnie różnych wyników symulacji krzywych odpuszczania dla górnych i dolnych stężeń wszystkich pierwiastków występujących w badanej grupie stali, uzyskanych przy zastosowaniu modelu sieci neuronowych oraz modelu matematycznego. Uzyskane wyniki dla trzech wybranych pierwiastków (W, V i Ti) przedstawiono na rysunkach 4-6.



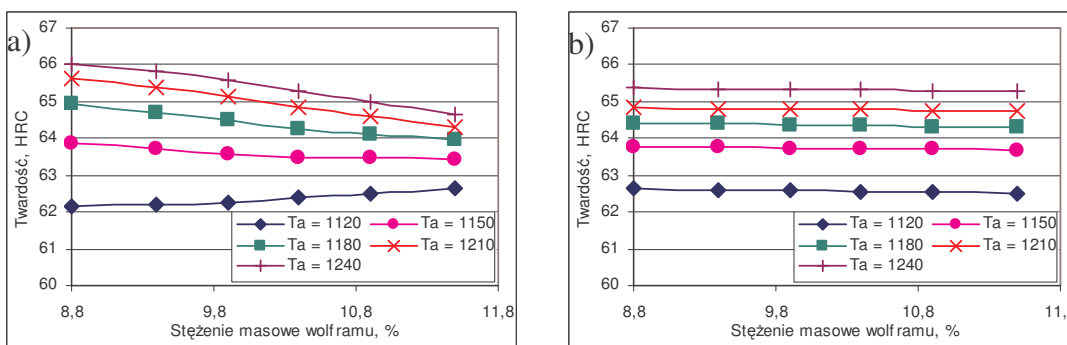
Rys. 1. Porównanie krzywych odpuszczania dla 1-go wariantu składu chemicznego a) sieć neuronowa, b) model matematyczny



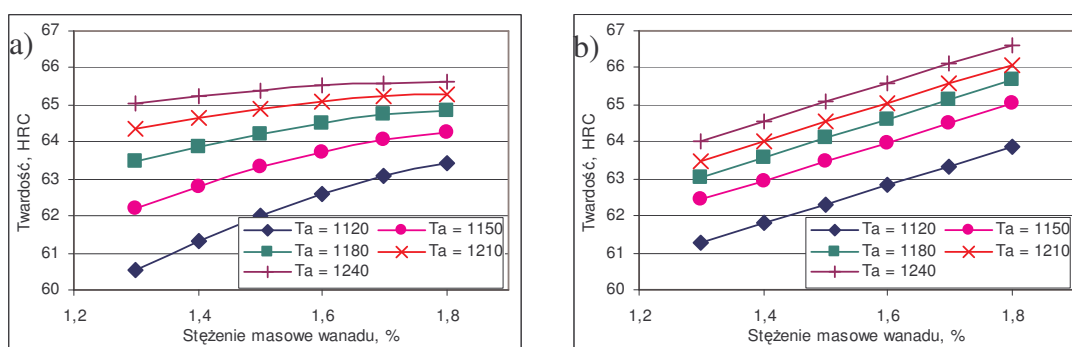
Rys. 2. Porównanie krzywych odpuszczania dla 2-go wariantu składu chemicznego a) sieć neuronowa, b) model matematyczny



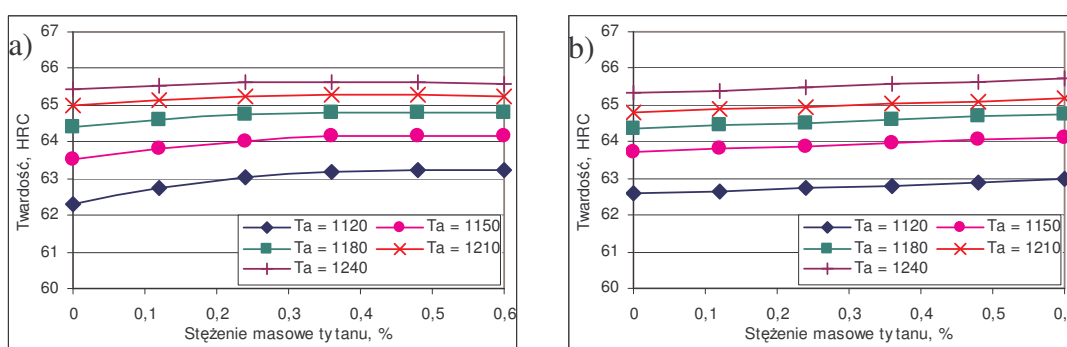
Rys. 3. Porównanie krzywych odpuszczania dla 4-go wariantu składu chemicznego a) sieć neuronowa, b) model matematyczny



Rys. 4. Wpływ wolframu na twardość stali a) sieć neuronowa, b) model matematyczny



Rys. 5. Wpływ wanadu na twardość stali a) sieć neuronowa, b) model matematyczny



Rys. 6. Wpływ tytanu na twardość stali a) sieć neuronowa, b) model matematyczny

### 3. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki pozwalają na przypuszczać o przydatności opracowanych modeli, matematycznego i sieci neuronowych, do oceny wpływu pierwiastków stopowych na twardość stali. Podkreślić należy, że w chwili obecnej celowe jest jedynie analizowanie oddziaływania wybranych pierwiastków stopowych, gdy pozostałe, tzw. tło, są na średnich poziomach stężeń podanych w tabelicy 1. Wskazują na to wyniki prezentowane na rysunkach 1,3 4-6, gdzie uzyskano dużą zgodność ocen przy zastosowaniu obydwu testowanych modeli. W pracy przedstawiono jedynie wybrane przykłady uzyskanych wyników. Dopiero analiza kompletnych wyników symulacji tj. dla pełnego zakresu zmian temperatur odpuszczania oraz szerszego zakresu stężeń pierwiastków stopowych pozwoli na określenie analitycznych zależności opisujących oddziaływanie pierwiastków stopowych i, co bardziej interesujące, ich kombinacji na twardość tej grupy stali.

### LITERATURA

1. Sitek W., Dobrzański L.A., Piętka A., Proc. Int. Sc. Conf. „Achievements in Materials & Mechanical Engineering AMME'2002”, Gliwice-Zakopane, 2002, 499.
2. L.A. Dobrzański: Structure and properties of high-speed steels, Zakład Materiałów Narzędziowych i Technik Komputerowych w Metaloznawstwie, Politechnika Śląska, Gliwice, 1998
3. L.A. Dobrzański, W. Sitek, J. Załona i R. Bachul, Proc. Int. Sc. Conf. „Achievements in Materials & Mechanical Engineering AMME'2000”, Gliwice-Gdańsk-Sopot, 2000, 155.