

dr hab. Bogusław Bożek, dr Lucjan Sapa  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Matematyki Stosowanej  
prof. dr hab. inż. Marek Danielewski, dr hab. inż. Katarzyna Tkacz-Śmiech  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki

## Jednowymiarowy model matematyczny procesu azotowania żelaza

Azotowanie jest cieplno-chemiczną metodą modyfikacji wierzchniej warstwy metali i stopów poprzez nasycenie jej atomami azotu. Metoda stosowana jest w celu zwiększenia odporności na korozję, zużycie i zmęczenie. Jest to proces złożony, prowadzony w heterogenicznym układzie otwartym: metal–gaz. Pomimo że technologia została opracowana i wprowadzona do praktyki przemysłowej na początku XX wieku, jej fundamentalne zrozumienie i konceptualizacja podstawowych mikromechanizmów pozostają fragmentaryczne.

Matematyczny opis dyfuzji wzajemnej w ciałach stałych może być oparty o metodę Darkena. W metodzie tej zakładamy, że strumienie dyfuzji składników są różne, co prowadzi do pojawienia się dryftu w materiale. Model Darkena jest odpowiedni dla dyfuzji na duże odległości i w wysokich temperaturach (powyżej temperatury Tammana, kiedy zaczyna przeważać dyfuzja sieciowa). W wysokich temperaturach siła napędowa prowadząca do odkształcenia plastycznego jest zaniedbywalna. Dyfuzja wzajemna na małych odległościach, jaka ma miejsce w cienkich warstwach, może jednak prowadzić do powstania naprężeń. Naprężenia wywołane ruchem materiału mogą z kolei powodować powstawanie struktur dyslokacyjnych, podobnych do tych związanych z odkształceniem plastycznym przy braku dyfuzji, co może limitować proces. W takim przypadku model Darkena nie jest wystarczający i jest konieczny nowy schemat. W modelowaniu dyfuzji w takim przypadku, konieczne jest zastosowanie odpowiedniego modelu mechanicznego. Odpowiednim modelem jest model materiału lepko-sprężystego zaproponowany przez Maxwella. Przewiduje on, że odkształcenie materiału poddanego naprężeniu ma dwie składowe: sprężystą i plastyczną. Naprężenia i lepkość materiału towarzyszą w szczególności dyfuzji azotu i pierwiastków metalicznych w procesie azotowania.

W referacie przedstawimy jednowymiarowy model matematyczny procesu azotowania, obliczenia dyfuzji wzajemnej w procesie azotowania żelaza i pokażemy, że transportowi masy towarzyszą naprężenia i odkształcenie plastyczne, a lepkość materiału limituje kinetykę procesu.

### Bibliografia

- [1] G.B. Stephenson, *Plastic Strain and Stress During Interdiffusion*, Scr. Metall. 20 (1986), 465–470.
- [2] G.B. Stephenson, *Deformation During Interdiffusion*, Acta Metall. 36 (1988), 2663–2683.
- [3] K. Tkacz-Śmiech, B. Bożek, L. Sapa, M. Danielewski, *Viscosity Controlled Interdiffusion in Nitriding*, Diffusion Foundations 10 (2017), 28–38.
- [4] K. Tkacz-Śmiech, *Multicomponent Diffusion*, Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2018.