

IZOTERMICKÉ PREMENY V KOVOVÝCH MATERIÁLOCH

V. Girman

*Katedra fyziky kondenzovaných látok, UPJŠ, Košice
vladimir.girman@upjs.sk*

Abstrakt

Cieľom príspevku je podať základné informácie o izotermických premenách vo všeobecnosti. Vyjadrovať konkrétne ku každému typu premeny (perlit, bainit, martenzit, ...) by bolo v tomto smere veľmi zdĺhavé, pretože každá z týchto premien má svoje špecifiká.

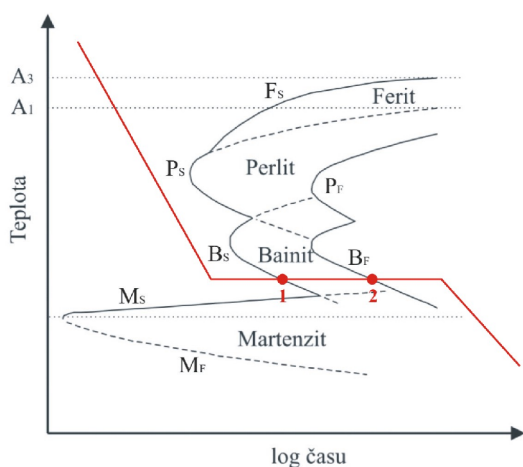
1. Úvod

Izotermické premeny boli v kovových materiáloch pozorované už začiatkom 40 – tých rokov minulého storočia. Od začiatku ich objavenia boli vyslovené teórie na ich vysvetlenie, ktoré sa zamerali na popis nukleácie a rastu zárodku, a do dnešných čias sa nejako zásadne nezmenili. V súčasnosti možno povedať, že doposiaľ neexistuje plne uspokojivá teória popisujúca izotermické transformácie.

2. Izotermické premeny

Hoci drvivá väčšina tepelných spracovaní prebieha pri kontinuálnej zmene teploty, existujú zliatiny, v ktorých rozpad austenitu prebieha izotermicky, čiže za konštantnej teploty. Takýto spôsob rozpadu austenitu reprezentovaný IRA diagramom. Tvar kriviek IRA diagramu je s ohľadom na časovú os sigmoidálny a zvyčajne pozostáva z niekoľkých prekrývajúcich sa C – kriviek. Na obr. 1 je IRA diagram pre bližšie nešpecifikovanú oceľ. Je možné rozoznať, že pozostáva zo štyroch C – kriviek, preložených cez seba. Každá jedna C – krivka predstavuje samostatnú oblasť niektorého z produktov rozpadu austenitu (ferit, perlit, bainit, martenzit). Každá z týchto kriviek má svoje charakteristické teplotné maximum a minimum, ktoré zodpovedá najvyššej, resp. najnižšej teplote, pri ktorej je možné izotermickou výdržou získať v štruktúre konkrétny produkt premeny. Podobne ako existuje teplotné maximum, dá sa z IRA diagramu odčítať časové minimum

a maximum premeny. Tieto hodnoty sú vyjadrené údajom napr. B_S a B_F (z angl. bainite start a bainite finish). Celkový tvar kriviek počiatku rozpadu je určený inkubačnou periódou pri danej teplote, počas ktorej prebieha nukleácia zárodku produktu. Za obdobie inkubačnej periódy môžeme považovať úsek červenej krivky po bod 1. Inkubačná perióda teda zodpovedá bodu, v ktorom sa voľná energia zliatiny začína znižovať, čiže bodu kedy je dosiahnutá veľkosť zárodku väčšia než je kritická [1]. Od bodu 1 po bod 2 prebieha premena austenitu na konkrétny produkt premeny, v tomto prípade na bainit. Od bodu 2 potom nasleduje ochladzovanie novej štruktúry. Nemožno však povedať, že výsledkom bude 100% – ný podiel bainitu v štruktúre. Obzvlášť po displacívnych premenách zostáva okrem rozpadového produktu aj nejaké množstvo nepremeného austenitu. Podiel nepremeného austenitu v štruktúre je závislý od teploty premeny, rýchlosti ochladzovania a chemického zloženia materiálu. Všeobecne platí, že s klesajúcou teplotou premeny klesá množstvo nepremeného austenitu. Ale napr. u Si oceli je závislosť rôzna. Bolo zistené [2], že s rastúcou teplotou premeny rástol aj obsah nepremeného austenitu. Zlomová však bola teplota 350°C. Nad ňou podiel nepremeného austenitu postupne klesal.



Obr. 1: IRA diagram pre bližšie neurčenú oceľ. Červenou je vyznačená krivka ochladzovania.

Samotná inkubačná perióda je ovplyvnená dvoma spôsobmi; malou difúznou schopnosťou atómov pri nízkych teplotách, a malou hnacou silou premeny pri vysokých teplotách. IRA diagram sa tak zároveň stáva aj ukazovateľom stability austenitu pri zmenách teploty. Z diagramu na obr. 1 je ďalej možné podľa červenej krivky odčítať, že počiatok rozpadu nastáva až po určitom podchladení. Čím väčšie podchladenie, tým väčšia je hnacia sila premeny a rozpad nastáva skôr. Platí to ako pre rekonštruktívne transformácie (ferit, perlit), tak aj pre kategóriu displacívnych premien (widmanstätten, acikulárny ferit, bainit, martenzit). Inými slovami, z IRA diagramu je teoreticky možné stanoviť podiel sledovaného produktu rozpadu ako funkciu teploty a času. Prakticky je však presné stanovenie podielu premeneného austenitu veľmi komplikované. Predovšetkým treba zohľadniť vplyv veľkosti zrna. S meniacou sa veľkosťou zrna sa totiž môžu výrazne posúvať všetky body IRA diagramu, čo znamená nie len posuv kriviek počiatku a konca premien, ale aj zmenu tvaru, či dokonca polohy všetkých oblastí [3].

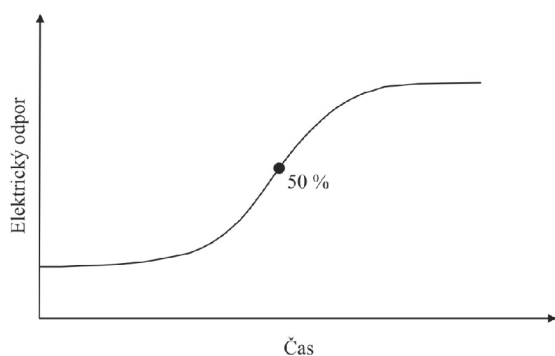
3. Kinetika izotermických transformácií

Znalosti kinetiky izotermických transformácií sú pomerne nízke, nakoľko v praxi sa tieto premeny vyskytujú len ojedinele [4]. Z doterajších poznatkov je jasné, že tieto transformácie majú svoju charakteristickú kinetiku, ktorá je od anizotermických a atermálnych transformácií odlišná. Najvýraznejšie je tento rozdiel badateľný pri získavaní martenzitu. Pri dostatočne rýchlom podchladení je podľa IRA diagramu možné získať čisto martenzitickú štruktúru, zatiaľ čo pri kontinuálnom ochladzovaní je to nemožné. Isté však je, že izotermické transformácie sú časovo závislé, a ich kinetika je kontrolovaná predovšetkým rýchlosťou nukleácie, pretože samotný rast produktu premeny je veľmi rýchly.

Bhadeshia [1] tvrdí, že k celkovej kinetike izotermických transformácií by sa nemala rátať inkubačná perióda. Rýchlosť transformácie by sa mala započítavať až od vzniku zárodku a sledovať by sa mal v podstate iba rast daného produktu. Táto rýchlosť rastu sa mení v závislosti na teplote premeny. Kinetika izotermických transformácií je silne závislá od typu rozpadového produktu, pretože vo svojej podstate zahŕňa rast novej fázy. Je teda vzťahnutá na konkrétny produkt. Úplne odlišný bude rast produktu rekonštruktívnou premenou, a iný displacívnu. Dokonca aj pri porovnaní kinetiky horného a dolného bainitu v oceliach sa nájdu veľké rozdiely [5]. Obzvlášť zložitá je popisovanie kinetiky premien práve bainitického typu, kedy treba brať v úvahu difúznú a strihovú zložku premeny.

Všeobecný tvar krivky izotermického rozpadu je na obr. 2 [6]. Krivka je získaná meraním zmien elektrického odporu v závislosti na čase transformácie. Z krivky

sa dá odčítať spočiatku takmer vodorovná časť zodpovedajúca iba tvorbe zárodkov, neskôr strmé stúpanie krivky vypovedajúce o raste produktov premeny zo vzniknutých zárodkov. Maximálna rýchlosť rastu sa dosahuje v oblasti kde je 50 % transformovaného austenitu. Po prekonaní tohto bodu rýchlosť premeny opäť klesá. Je to odôvodnené tým, že je čoraz menej austenitu, a teda menej možnosti na nukleáciu a následný rast. Ku koncu premeny je rast už tak pomalý, že na krivke je možné vidieť takmer vodorovnú časť.



Obr. 2: Príklad krivky kinetiky izotermickej premeny získanej meraním závislosti elektrického odporu na čase.

Treba ešte zdôrazniť, že veľký vplyv na kinetiku izotermickej premeny má aj aplikované vonkajšie mechanické zaťaženie alebo nejaké energetické pole. Napr. bolo zistené, že aplikovaním magnetického poľa sa vznik a rast izotermického martenzitu podstatne zrýchlila. Aplikovanie vonkajšieho mechanického zaťaženia môže dokonca zmeniť charakter izotermickej premeny na anizotermický. Dôležitý je tiež spôsob nukleácie produktu. Heterogénna nukleácia nastáva skôr ako homogénna. Zvyčajne sa tieto vplyvy prejavujú zvýšením teploty M_s a zrýchlením celej premeny.

Použitá literatúra

- [1] BHADESHIA H. K. D. H.: *Súkromná e-mailová korešpondencia.*
- [2] LEE Y. K. et al.: *Effect of isothermal transformation temperature on amount of retained austenite and its thermal stability in a bainitic Fe-3%Si-0.45%C-X steel.* In *Scripta Materialia* 47, (2002), pp. 805–809.
- [3] ZHAO J. – CH., NORIS M. R.: *Continuous cooling transformation kinetics versus isothermal transformation kinetics of steels: A phenomenological rationalization of experimental observations.* In *Materials Science and Engineering*, R15, 1995, pp. 135 – 208.
- [4] LIU F. et al.: *Additivity rule, isothermal and non-isothermal transformations on the basis of an analytical transformation model.* In *Acta Materialia* 55, 2007, pp. 5255 – 5267.
- [5] SAJJADI S.A. , ZEBARJAD S.M.: *Isothermal transformation of austenite to bainite in high carbon steels.* In *Journal of Materials Processing Technology*. 189, 2007, pp. 107–113.
- [6] CHRISTIAN J. W.: *Theory of transformations in metals and alloys.* Pergamon Press, Oxford, Vol. 7, 1st. edition, 1965.