

KVANTITATIVNÍ STANOVENÍ PRODUKTŮ IZOTERMICKÉHO ROZPADU AUSTENITU

M. Učeň, J. Filípek

Došlo: 25. září 2005

Abstract

UČEŇ, M., FILÍPEK, J.: *The quantitative determination of products of isothermal desintegration of austenite*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 1, pp. 127–134

With the help of a constitution diagram Fe – Fe₃C, a diagram TTT and vertical structural diagram of the authors' own construction it is determined that the relative amount of products in steel occurs in any temperature of isothermal disintegration of austenite. Making use of camouflage it is enabled to set bouth structural and phasic composition of alloy at the same time. In case of use of appropriate animating software (e.c. Macromedia Flash) it is possible to practise this quantification on steel of any chemical composition.

vertical structural diagrams, isothermal disintegration of austenite, carbon steel, interactive animation

Vlastnosti uhlíkových ocelí můžeme ovlivňovat změnou obsahu uhlíku, tvářením a tepelným zpracováním. Pro teorii i praxi tepelného zpracování ocelí je důležitá znalost přeměny přechlazeného austenitu. V závislosti na chemickém složení oceli, velikosti austenitického zrna a teplotě rozpadu mohou vzniknout následující morfologie:

- proeutektoidní ferit, nebo cementit v alotriomorfni, idiomorfni, nebo Widmanstättenově formě,
- terciální cementit,
- perlit lamelární (hrubý či jemný) popř. globulární,
- horní a dolní bainit,
- martenzit dislokační nebo blokový,
- zbytkový austenit.

V předloženém článku je sledován rozpad přechlazeného austenitu za izotermických podmínek. Stanovení poměrného množství produktů rozpadu austenitu za teplot blízkých kritické teplotě A_1 nečiní u uhlíkových ocelí vážnější problémy. Množství vzniklého feritu, cementitu, či perlitu určíme z rovnovážného diagramu Fe – Fe₃C pákovým pravidlem.

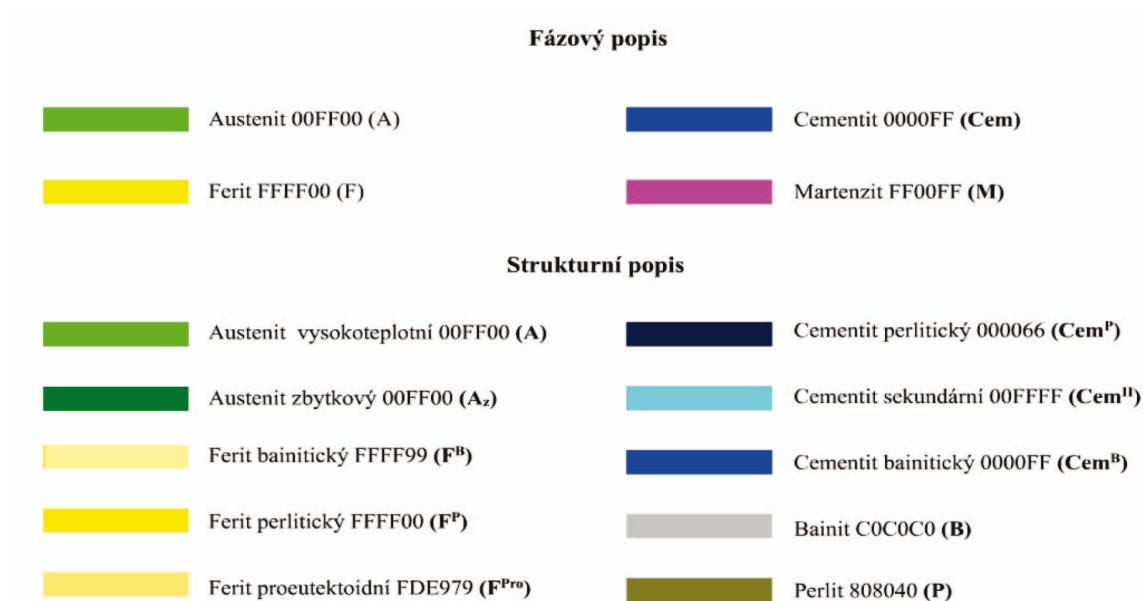
Složitější situace nastane, jestliže rozpad austenitu proběhne při větším přechlazení. Poměrné množství feritu, cementitu nebo perlitu pak nelze přesně stanovit pákovým pravidlem. Navíc se objevují i nerovnovážné fáze a struktury (bainit, martenzit, zbytkový austenit). V tomto případě najde uplatnění diagram IRA. Určit podíl jednotlivých produktů pomocí diagramu IRA lze však jen částečně, protože situace je komplikována několika skutečnostmi:

- s klesající teplotou izotermického rozpadu austenitu se zvyšuje podíl perlitu na úkor proeutektoidního feritu či cementitu,
- za teplot odpovídajících nosu diagramu (cca 550 °C) vzniká směs perlitu a bainitu, jejichž vzájemný poměr závisí na teplotě,
- pod teplotou M_s se začíná tvořit nejen martenzit, ale vzniká i určité množství bainitu, tuto skutečnost nelze jednoznačně z diagramu IRA vydedukovat,
- přeměna austenitu na bainit a martenzit neprobíhá do konce, ve struktuře zůstává podíl zbytkového austenitu jeho množství také neurčíme z IRA diagramu.

Vertikální strukturní diagramy

Ke kvantitativnímu stanovení produktů izotermického rozpadu austenitu autoři použili vertikální strukturní diagramy vlastní konstrukce. Diagram platí (obdobně jako diagram IRA) jen pro konkrétní chemické složení

oceli, proto k modelování změn diagramů v závislosti na obsahu uhlíku byl využit software Macromedia Flash MX. Jednotlivé fáze a strukturní složky jsou v diagramech barevně rozlišeny v souladu s Obr. 1, kde šesti-místné číslo konkretizuje barevný odstín.



1: Barevné rozlišení fází a strukturních součástí v uhlíkových ocelích

Na Obr. 2 je znázorněna část rovnovážného diagramu Fe – Fe₃C, IRA diagram a vertikální strukturní diagram (dále VSD) pro ocel s obsahem 0,3 % C (koncentrace C je uvažována v hmotnostních %). VSD je umístěn vpravo od diagramu IRA. Na vodorovnou osu se vynášejí množství fází nebo strukturních součástí a na svislou osu teplota, při které se uskutečnil izotermický rozpad austenitu. Přímkami a křivkami uvnitř VSD vymezují oblasti existence příslušných fází a strukturních složek. Svislá čára reprezentující chemické složení oceli, pohybující se v diagramu Fe – Fe₃C doprava, znázorňuje rostoucí obsah uhlíku.

Obsah uhlíku v oceli ovlivňuje:

- podíl proeutektoidního feritu, proeutektoidního cementitu, perlitu, bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu ve struktuře,
- polohu kritických teplot A_{c3} , A_{cm} , M_s , M_f ,
- stabilitu přechlazeného austenitu,
- morfologii a vlastnosti vzniklých produktů a pod.

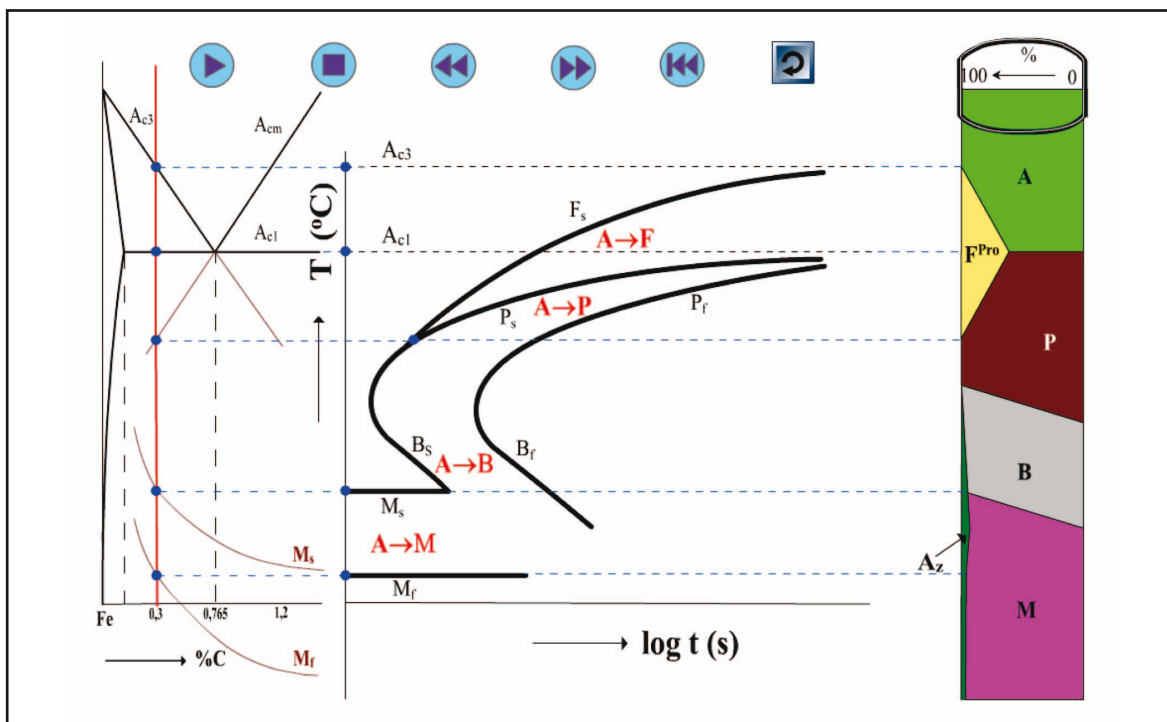
Obr. 3 zachycuje situaci platnou pro eutektoidní ocel (0,765 % C). Diagram IRA se rostoucím obsahem uhlíku měnil následovně:

- teplota M_s a M_f se snížila,
- přímka A_{c3} klesala a při eutektoidní koncentraci splynula s přímkou A_1 ,
- křivka F_s se přibližovala ke křivce P_s a při obsahu 0,765 % C s ní splynula,
- křivky P_s , P_p , B_s , B_f se posunuly doprava, tj. k delším časům.

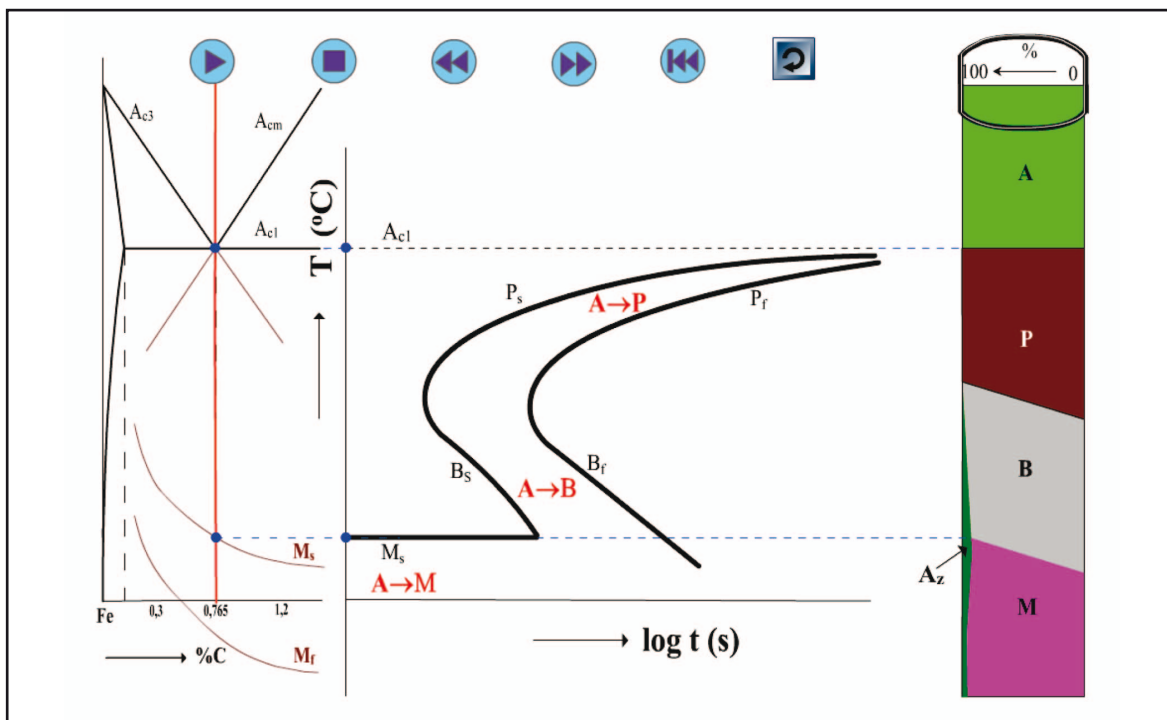
Všechny uvedené změny se zobrazily i v VSD (kromě posunu P_s , P_p , B_s , B_f doprava). Navíc se rozšířila oblast zbytkového austenitu.

Obr. 4 znázorňuje situaci u nadeutektoidní oceli. Při dalším zvyšování obsahu uhlíku docházelo v IRA diagramu k dalším změnám:

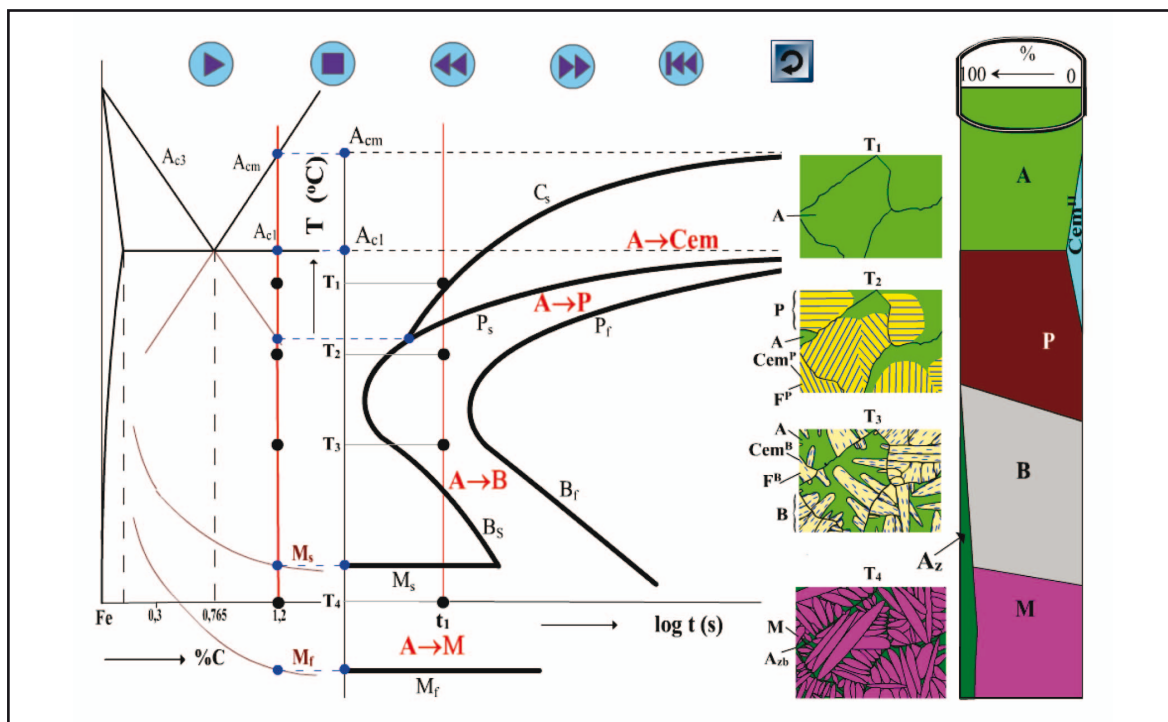
- od přímky A_{c1} se oddělila přímka A_{cm} a plynule stoupala,
- od křivky P_s se oddělila křivka C_s a asymptoticky se přibližovala k přímce A_{cm} ,
- křivky P_s , P_p , B_s , B_f se vracely zpět doleva (ke kratším časům),
- nadále klesala teplota M_s a M_f .



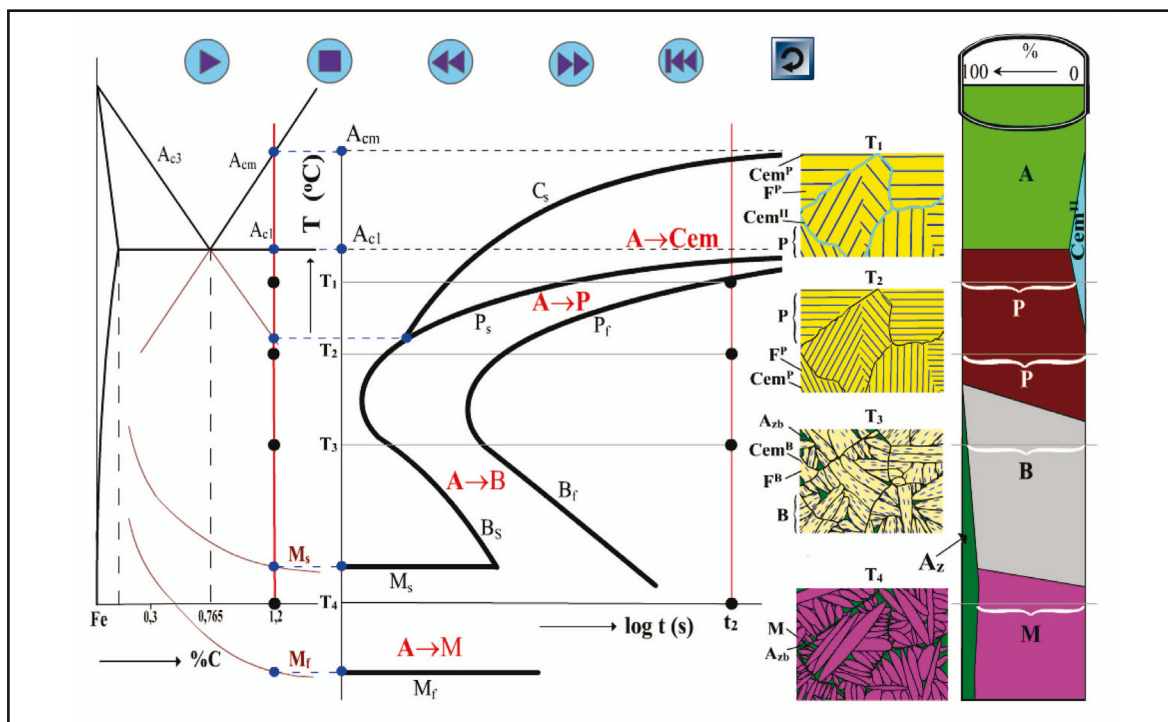
2: Pódeutektoidní ocel s obsahem 0,3 % C



3: Eutektoidní ocel



4: Nadeutektoidní ocel – průběh izotermické transformace



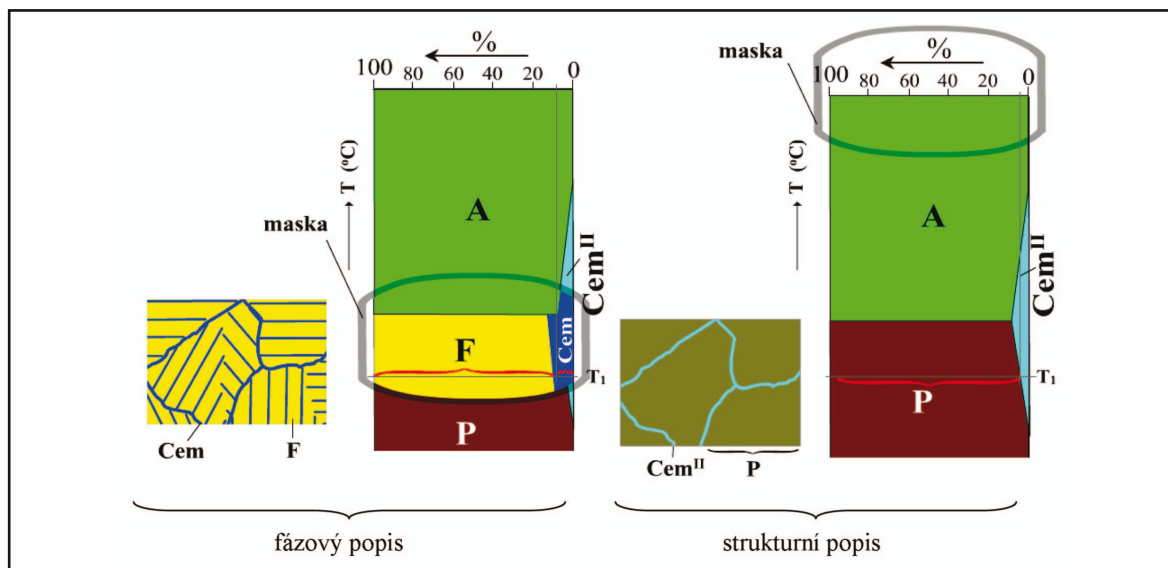
5: Nadeutektoidní ocel – izotermická transformace ukončena

V diagramu IRA (Obr. 4) jsou použity čtyři synchronizované klipy, které znázorňují změnu struktury v průběhu izotermické přeměny při teplotách T_1 až T_4 . Vzorky s austenitickou strukturou byly rychle ochlazené na příslušnou teplotu, na které následovala izotermická výdrž. V časovém okamžiku t_1 je austenit v závislosti na teplotě v různém stadiu rozpadu. Za teploty T_1 rozpad austenitu ještě nezačal, při teplotách T_2 a T_3 rozpad probíhá a u čtvrtého vzorku byl ukončen v okamžiku dosažení teploty T_4 .

Morfologie výsledných struktur po skončené izotermické výdrži je zřejmá z Obr. 5. Pomocí vertikálního strukturního diagramu je možné stanovit hmotnostní podíl jednotlivých strukturních součástí po izotermickém rozpadu. Dochlazením na teplotu okolí se struktura už nemění.

Strukturní vertikální diagram je vhodné vybavit posuvnou maskou, pod kterou můžeme sledovat hmotnostní podíl jednotlivých fází. Na Obr. 6 máme možnost určit u nadeutektoidní oceli s 1,3 % C po izotermickém rozpadu austenitu při teplotě T_1 jak strukturní složení (96 % perlitu, 4 % sekundárního cementitu), tak i fázové složení (92 % feritu a 8 % cementitu).

Animace izotermické transformace austenitu i kvantitativní vyhodnocení dílčích podílů fází jsou založeny na souvislostech vyplývajících z literárních pramenů. Uvedený přístup nenahrazuje exaktní stanovení produktů rozpadu austenitu klasickými metodami strukturní a fázové analýzy.



6: Funkce maskování u strukturních vertikálních diagramů

ZÁVĚR

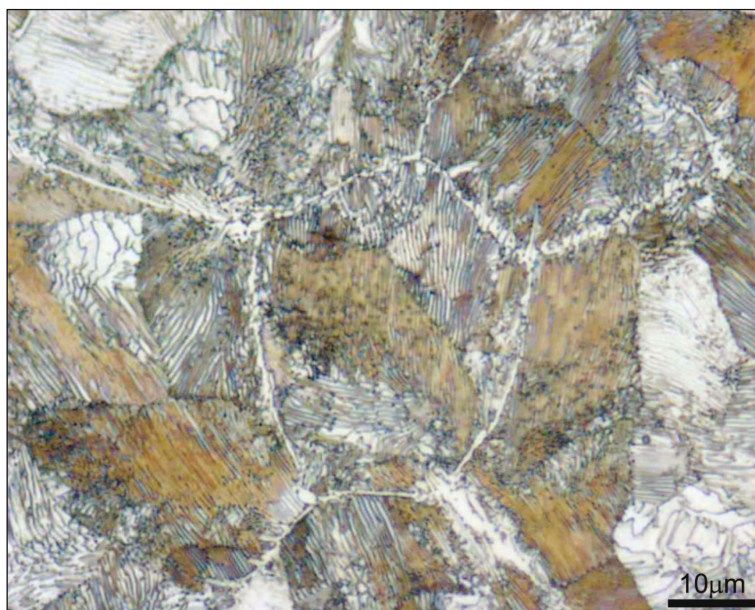
Rovnovážný diagram Fe – Fe₃C poskytuje dostatečné informace o kvantitativním zastoupení fází a strukturních součástí za předpokladu velmi pomalého chladnutí slitin. Fotografie mikrostruktur reálně zobrazují skutečnou strukturu slitin (Obr. 7, 8), ale je třeba je doplnit řadou informací. V případě izotermického rozpadu austenitu za většího přechlazení mohou najít uplatnění vertikální strukturní diagramy (VSD) vlastní konstrukce:

- VSD je vhodné zakreslit současně s rovnovážným diagramem Fe – Fe₃C a diagramem IRA, protože jen

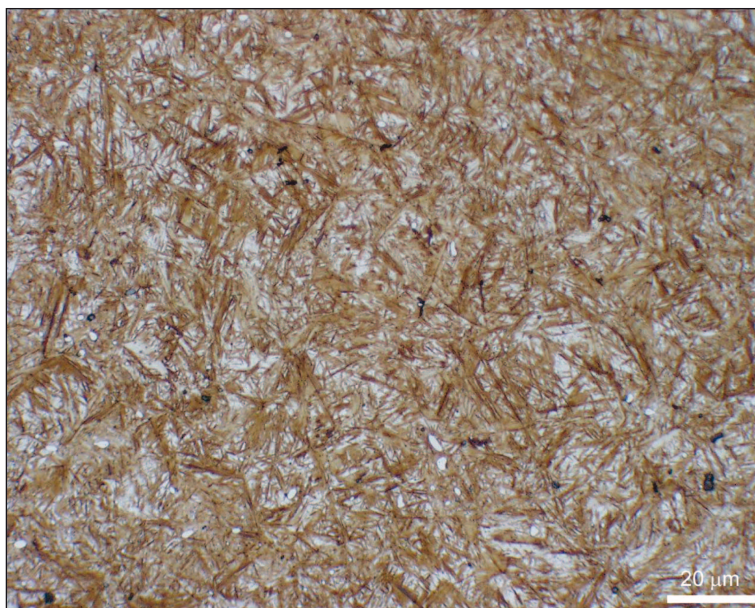
tak lze jednoznačně graficky zachytit vztah mezi chemickým složením, teplotou izotermického rozpadu austenitu a vzniklou strukturou.

- VSD umožňují stanovit pro příslušnou ocel a teplotu izotermického rozpadu austenitu kvantitativní množství fází nebo strukturních součástí. V případě využití tzv. maskování lze současně porovnat fázové a strukturní složení oceli.
- VSD názorně zobrazuje teplotní intervaly, při kterých se austenit rozpadá na více fází či struktur (např. tvorba perlitu + bainitu, bainitu + martenzitu). Rovněž lze jednoznačně zakreslit oblast teplot výskytu zbytkového austenitu. Tyto informace rov-

- novázný diagram Fe – Fe₃C neposkytne, diagram IRA pouze částečně.
- VSD a diagram IRA platí jen pro konkrétní ocel. Při využití vhodných animačních programů (např. Macromedia Flash) lze plynule měnit tvar těchto diagramů v závislosti na chemickém složení oceli.
 - VSD stanoví podíl strukturních složek a fází, nikoliv však jejich prostorové rozmístění. S využitím výpočetní techniky pomocí vložených klipů můžeme znázornit v čase kinetiku i morfologii fázových přeměn.



7: Nadeutektoidní ocel po izotermickém rozpadu austenitu při teplotě T_1 (izotermické žhání)



8: Nadeutektoidní ocel po rychlém ochlazení na teplotu T_4 (přímé martenzitické kalení z teploty nad A_{cm})

SOUHRN

Pomocí rovnovážného diagramu Fe – Fe₃C, diagramu IRA a vertikálního strukturního diagramu vlastní konstrukce můžeme jednoznačně určit u dané oceli poměrné množství produktů při libovolné teplotě izotermického rozpadu austenitu uhlíkových ocelí. Maskování umožňuje stanovit současně jak strukturní tak i fázové složení slitiny. V případě využití vhodného animačního software (např. Macromedia Flash) lze tuto kvantifikaci provést u oceli libovolného chemického složení.

vertikální strukturní diagramy, izotermický rozpad austenitu, uhlíková ocel, interaktivní animace

LITERATURA

- ŠEJNOHA, R.: Teorie tepelného zpracování, VŠB Ostrava 1971.
- HYSPECKÁ, L.: Teorie tepelného zpracování, VŠB Ostrava 1975, 154 s.
- PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu I/4, Academia Praha 1975, 542 s.
- JECH, J.: Tepelné zpracování oceli, SNTL Praha 1977, 400 s.
- PTÁČEK, L. et al.: Nauka o materiálu II, CERM Brno, 1999, ISBN 80-7204-130-4, 350 s.
- FRANKLIN, D.: Macromedia FLASH MX – kompletní průvodce. Computer Press Brno, 2003, ISBN 80-7226-831-7, 846 s.

Adresa

Ing. Michal Učeň, Doc. Ing. Josef Filípek, CSc., Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

