

GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ NONVARIANTNÍCH FÁZOVÝCH PŘEMĚN V BINÁRNÍCH SLITINÁCH V PRŮBĚHU OCHLAZOVÁNÍ

M. Nekuda, J. Filípek

Došlo: 5. října 2005

Abstract

NEKUDA, M., FILÍPEK, J.: *Graphic visualization of non-variant phase transformations in binary systems in course of cooling*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2006, LIV, No. 1, pp. 169–178

Non-variant phase transformations in the binary diagrams have both, some common features and some differences. The authors arranged an interactive animation by the help of the computer to catch the time course of non-variant transformations in many contexts. The program helps to illustrate and describe the matter all of non-variant transformations.

constitution diagrams, non-variant transformations, Macromedia Flash, interactive animation

V izobarických binárních rovnovážných diagramech se během ohřevu či ochlazování setkáváme s dvěma skupinami fázových transformací:

- přeměny za účasti dvou fází
- přeměny za účasti tří fází.

Přeměny za účasti tří fází vykazují podle Gibbsova zákona fází nulový stupeň volnosti (nonvariantní přeměny). V binárních soustavách se vyskytuje osm druhů nonvariantních transformací (Tab. I).

I: Nonvariantní přeměny v binárních slitinách

Poř. č.	Přeměna	Fáze vstupující do reakce		Přítomnost nonvariantní přeměny
		Tekutá	Tuhá	
1	Eutektická	L	α, β	Fe - C
2	Eutektoidní	-	α, β, γ	Fe - C
3	Peritektická	L	α, β	Fe - C
4	Peritektoidní	-	α, β, γ	Cu - Al
5	Monotektická	L_1, L_2	α	Cu - Pb
6	Monotektoidní	-	α, β_1, β_2	Al - Zn
7	Metatektická	L	α, β	Cu - Sn
8	Syntetická	L_1, L_2	ε	Zn - Na

Autoři sestavili s využitím výpočetní techniky (software Macromedia Flash) interaktivní animaci, která názorně zachycuje časový průběh všech nonvariantních přeměn. Fázové přeměny v průběhu pomalého ochlazování jsou synchronizovaně znázorněny pomocí příslušného rovnovážného diagramu, křivky

chladnutí slitiny procházející nonvariantním bodem, Sauverova diagramu, entalpického diagramu a schématu plynule se měnící struktury.

Pro jednoznačnost jsou všechny koexistující fáze barevně rozlišeny v souladu s Obr. 1.



1: Barevné rozlišení fází koexistujících při nonvariantních přeměnách

Poznámka: L₁, L₂ – taveniny s rozdílným chemickým složením (částečná rozpustnost v kapalném stavu)
 β₁, β₂ – tuhé roztoky se stejnou krystalickou mřížkou, ale rozdílným chemickým složením
 α, β, γ – tuhé roztoky (terminální fáze)
 ε – elektronová sloučenina (intermediární fáze)

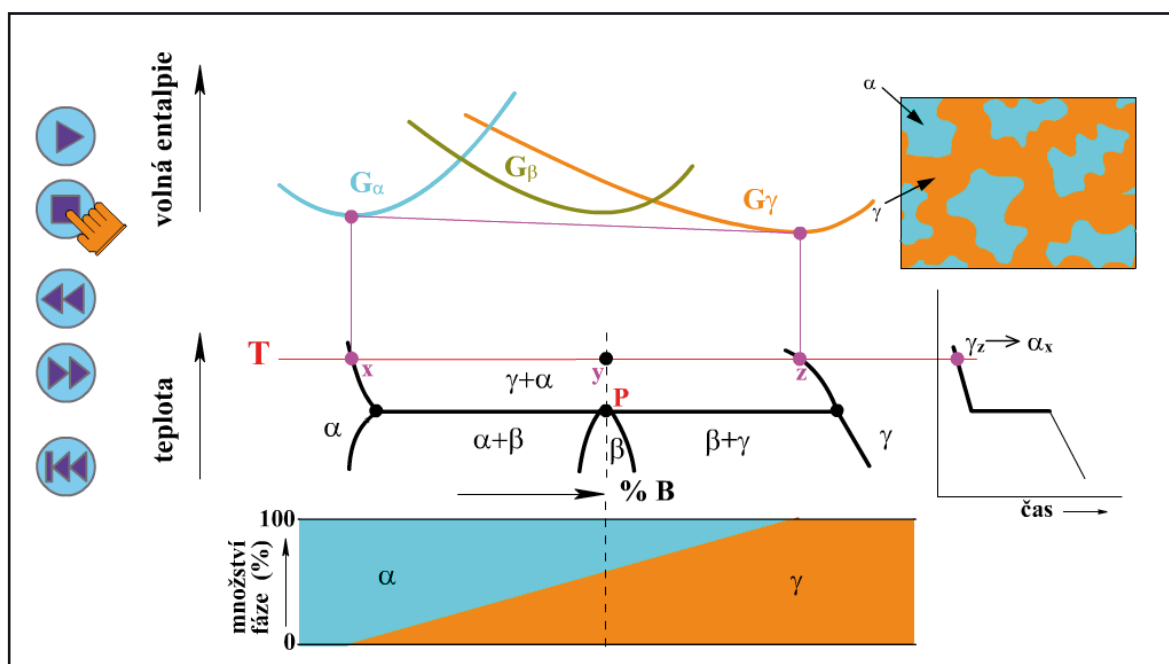
Obr. 2 až 6 znázorňují jednotlivé etapy fázových přeměn v rovnovážném diagramu s peritektoidní přeměnou.

Na Obr. 2 lze v průběhu ochlazování slitiny současně pozorovat následující změny:

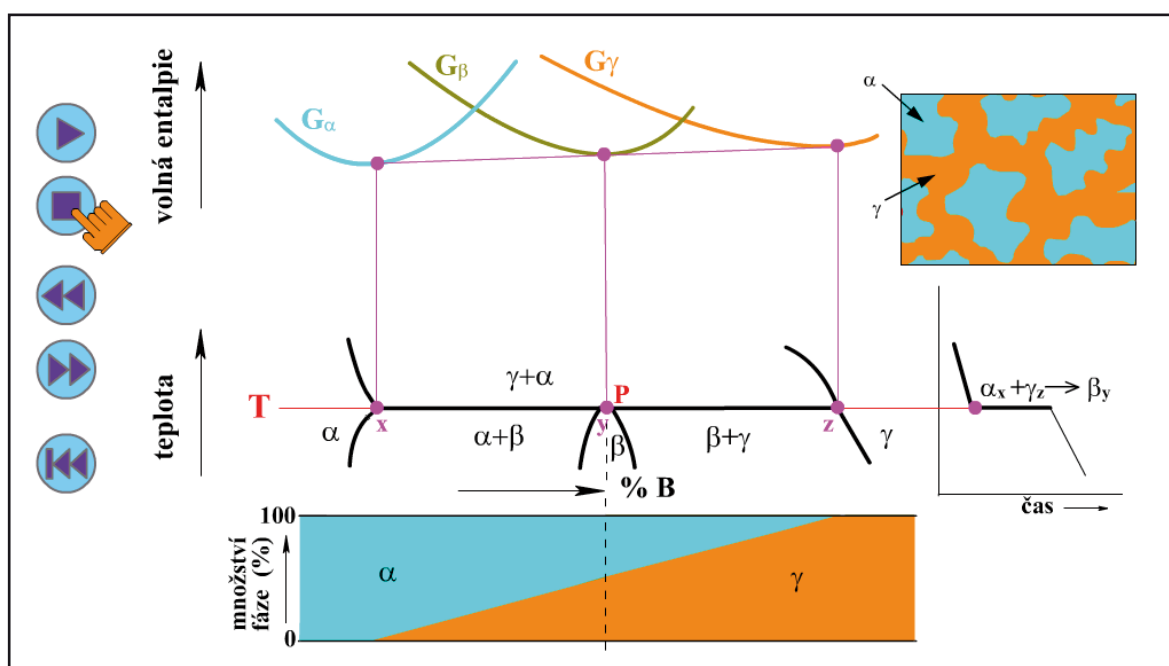
- křivky volné entalpie se posouvají nahoru
- v rovnovážném diagramu se pohybují body, které znázorňují chemické složení tuhého roztoku α (bod x), tuhého roztoku γ (bod z) i průměrné složení slitiny (bod y)
- na křivce chladnutí se synchronizovaně pohybuje bod, který znázorňuje časový průběh ochlazování; popiska se šipkou vyznačuje směr fázové přeměny
- tvar Sauverova diagramu reaguje na polohu bodů x a z

- ve struktuře se zvyšuje podíl tuhého roztoku α na úkor vysokoteplotního tuhého roztoku γ.

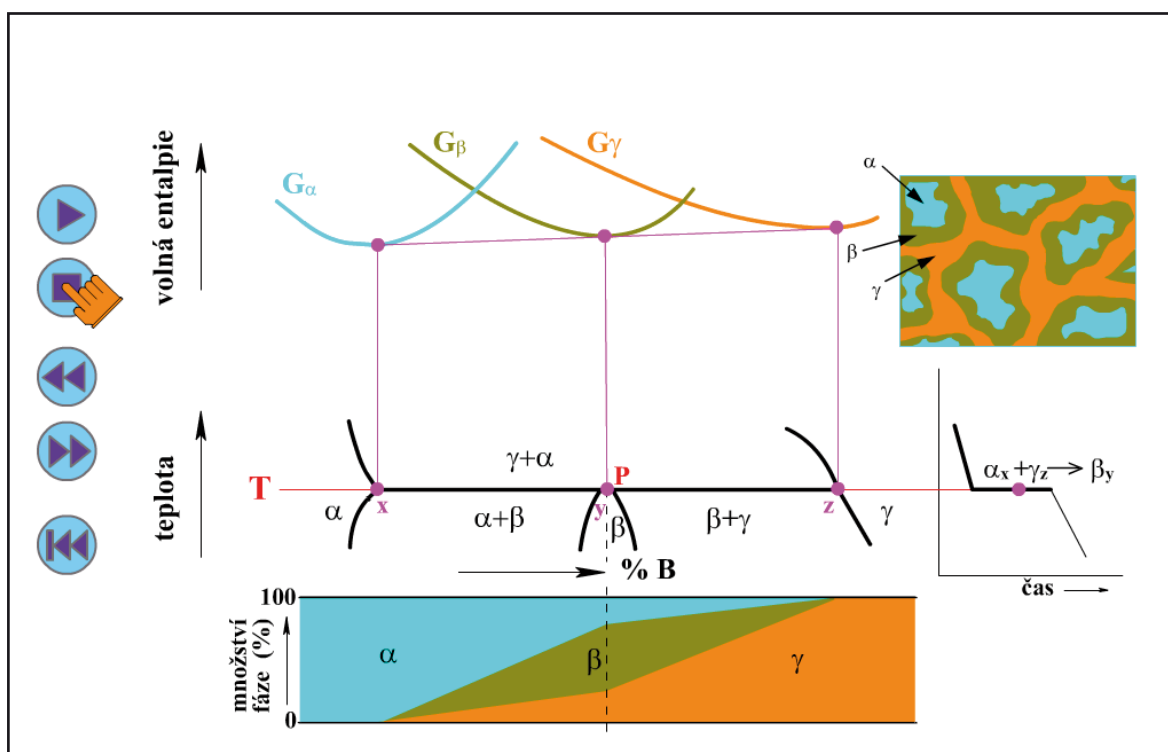
Obr. 3, 4 a 5 znázorňují průběh vlastní nonvariantní (peritektoidní) přeměny. Entalpický a rovnovážný diagram nevykazují změny, protože chemické složení fází se nemění. Na vodorovné prodlevě křivky chladnutí se pohybuje bod včetně popisky vyznačující směr fázové přeměny. V Sauverově diagramu se otvírá pole s tuhým roztokem β. Na schématu struktury reagují spolu tuhé roztoky α a γ za vzniku tuhého roztoku β. V dalším průběhu chladnutí (Obr. 6) nastávají obdobné změny jako na Obr. 2, pouze se už nemění struktura.



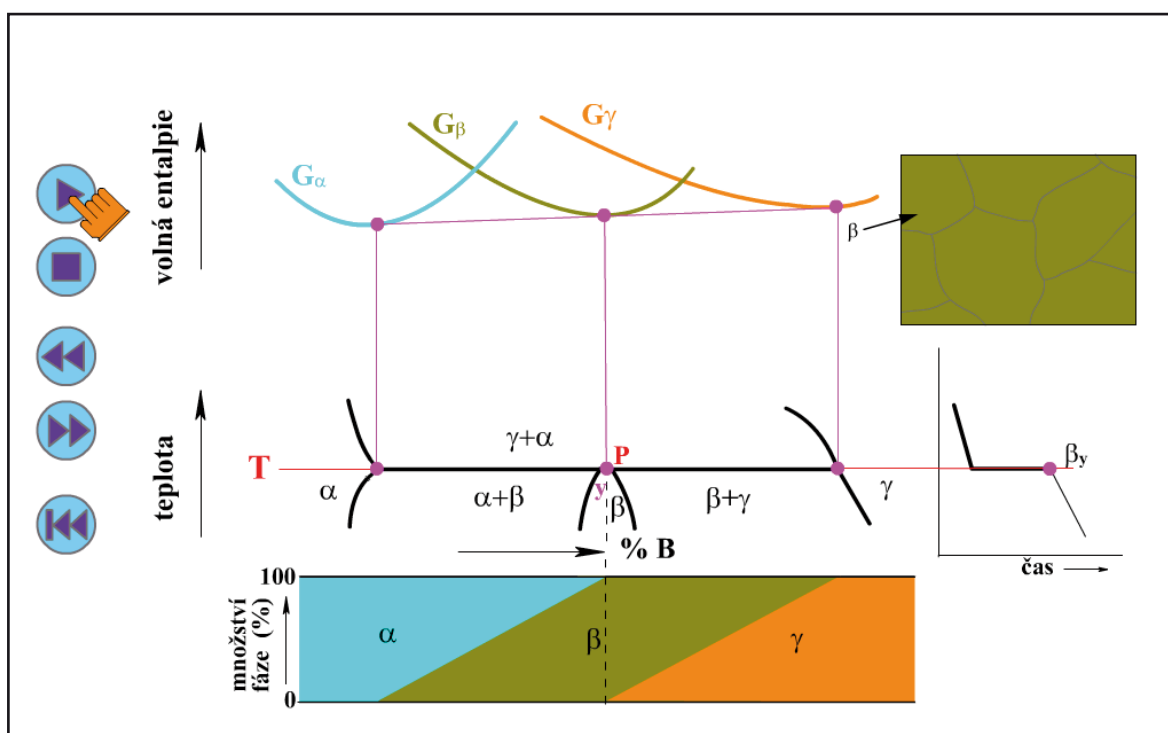
2: Rovnovážný diagram s peritektoidní přeměnou – nad teplotou T_p



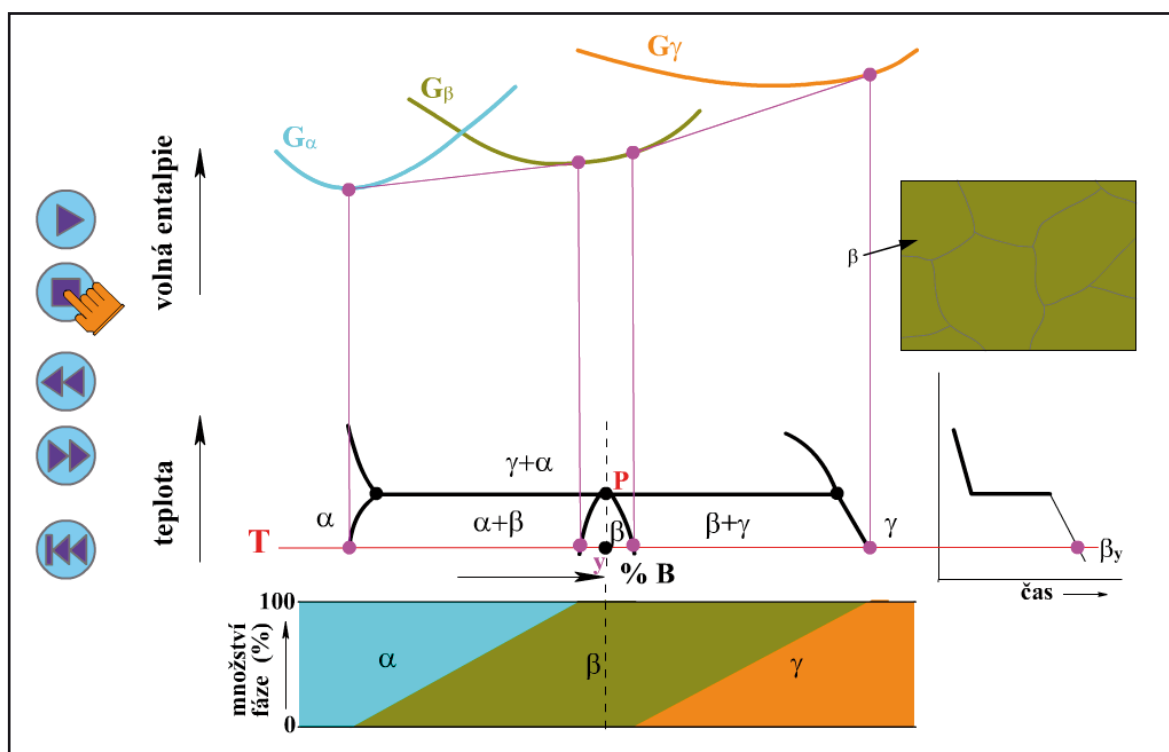
3: Rovnovážný diagram s peritektoidní přeměnou – počátek přeměny



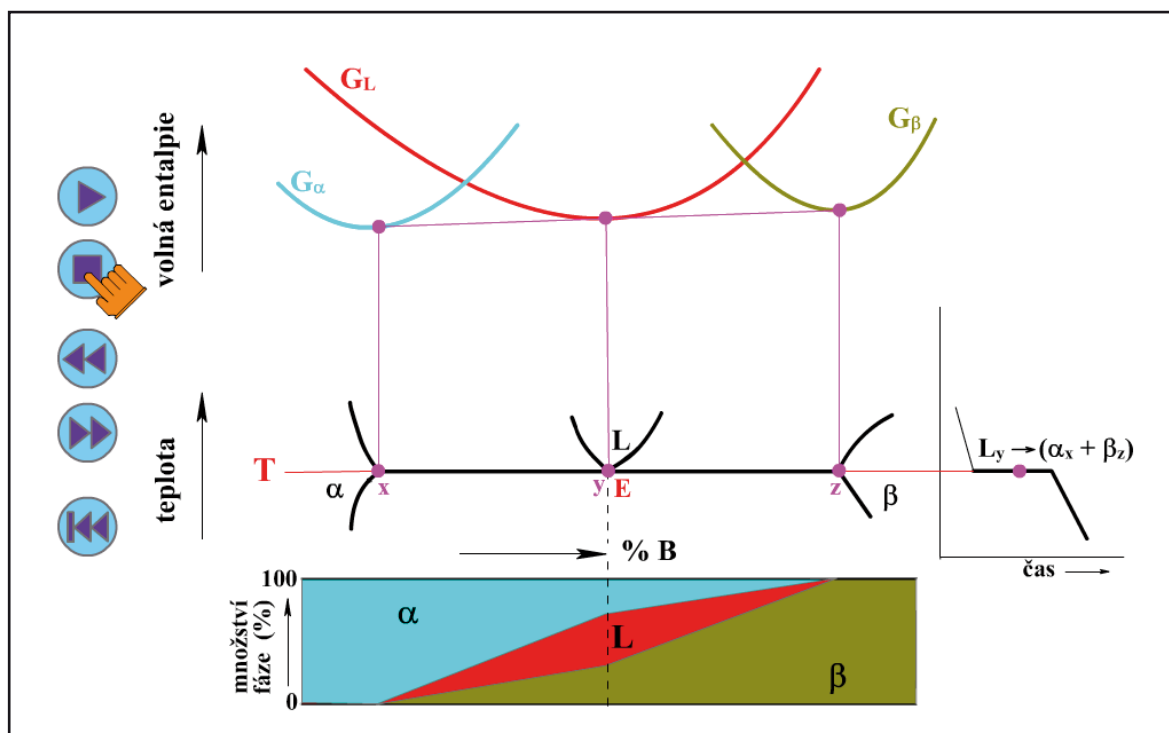
4: Rovnovážný diagram s peritektoidní přeměnou – průběh přeměny



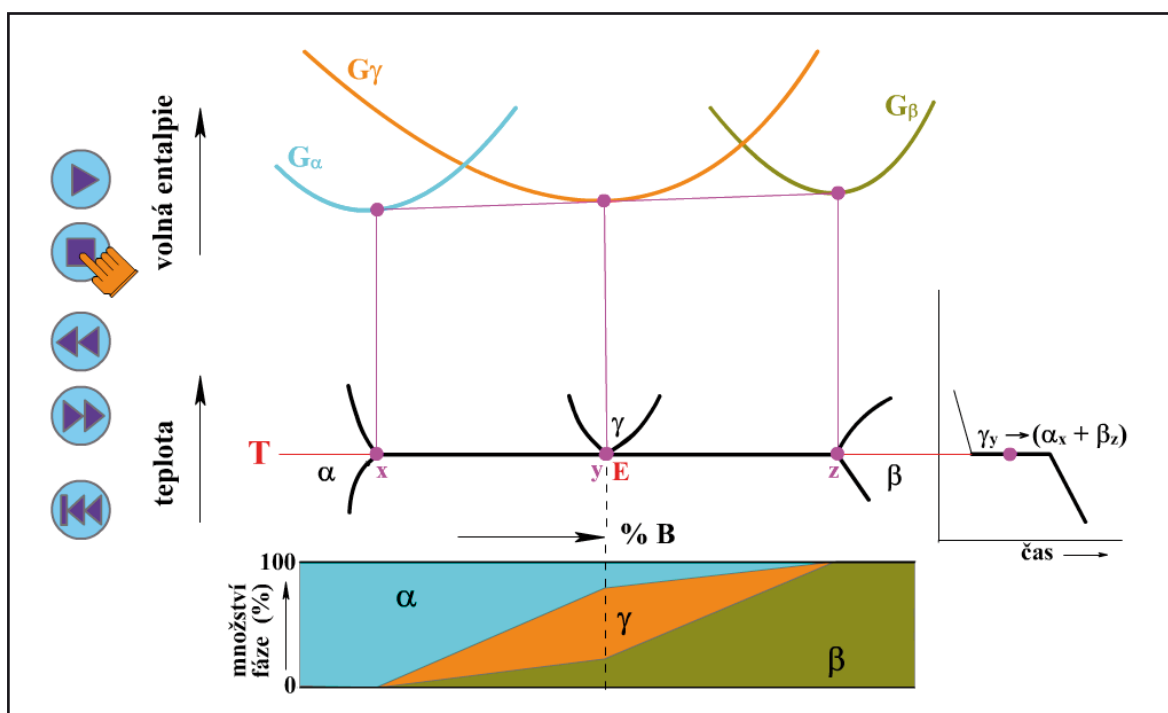
5: Rovnovážný diagram s peritektoidní přeměnou – konec přeměny



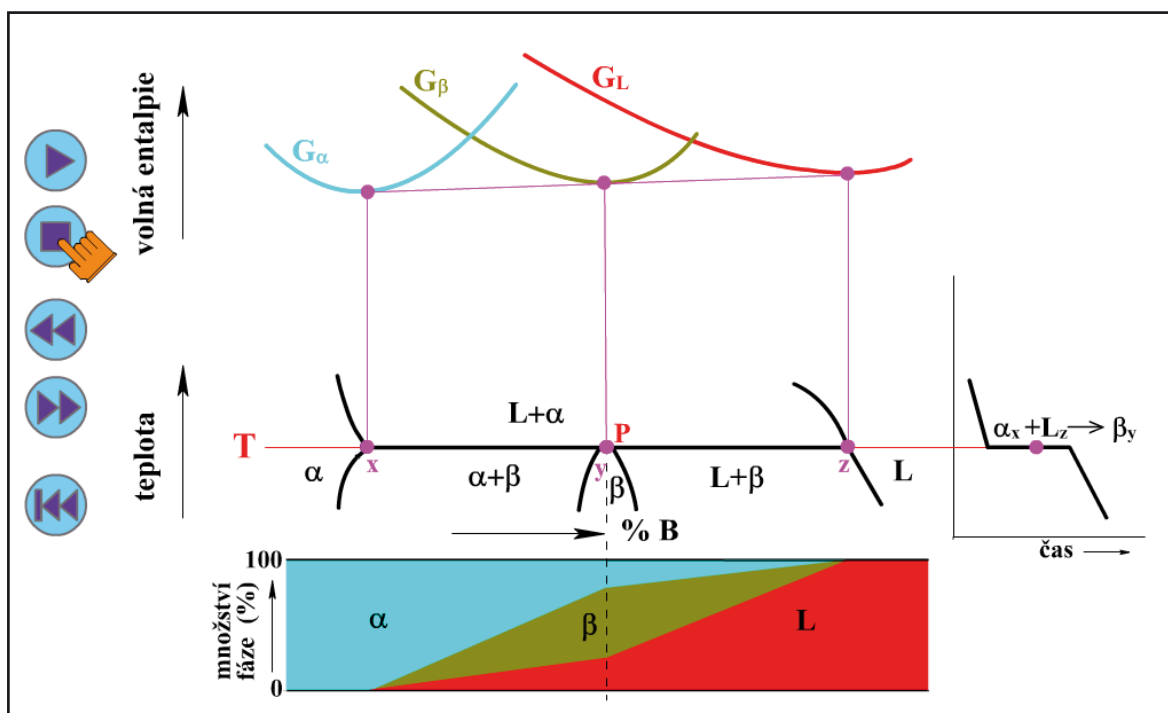
6: Rovnovážný diagram s peritektoidní přeměnou – pod teplotou T_p



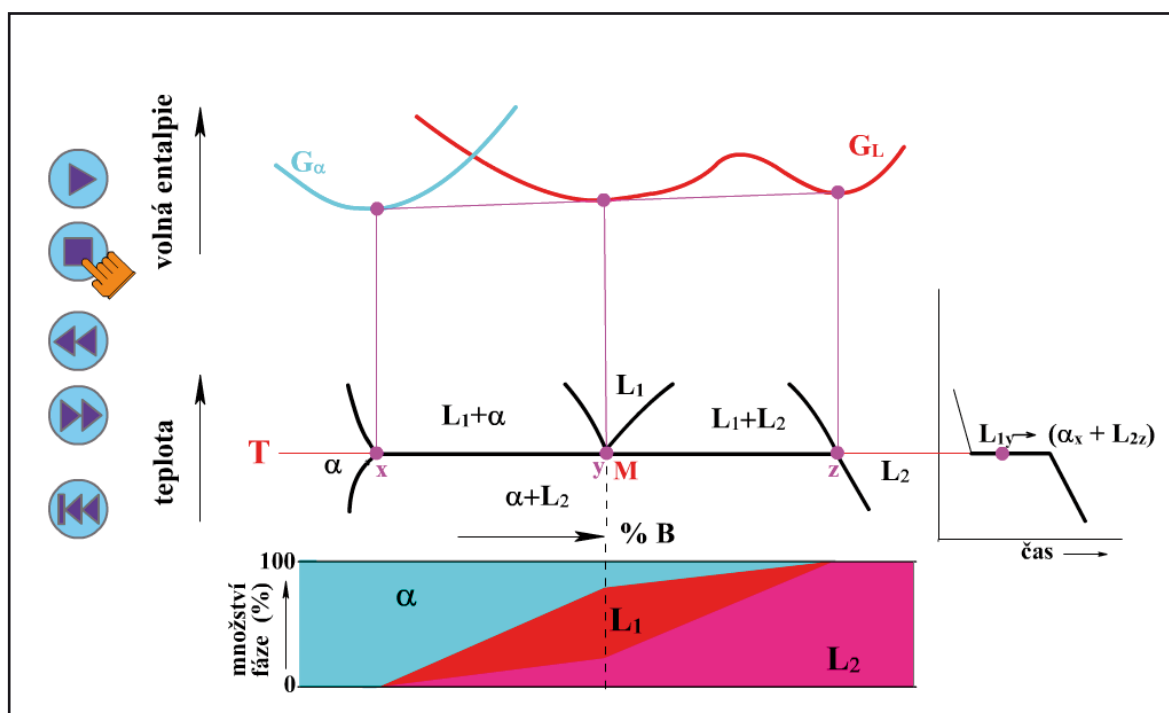
7: Průběh eutektické přeměny



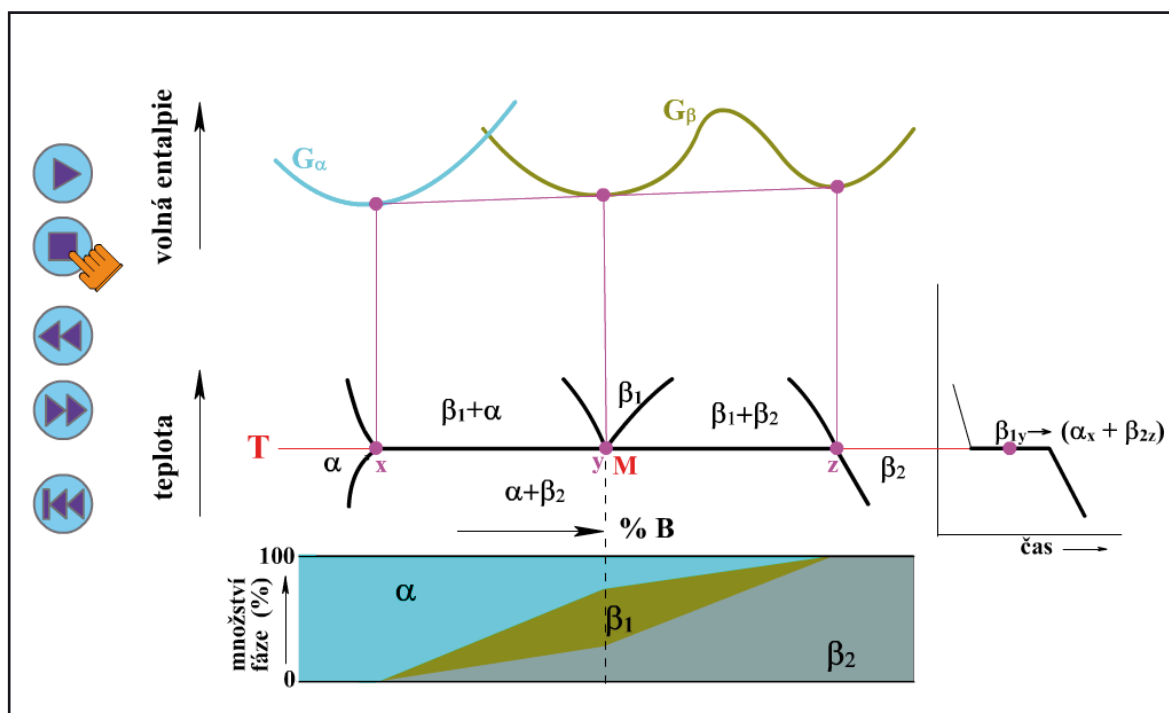
8: Průběh eutektoidní přeměny

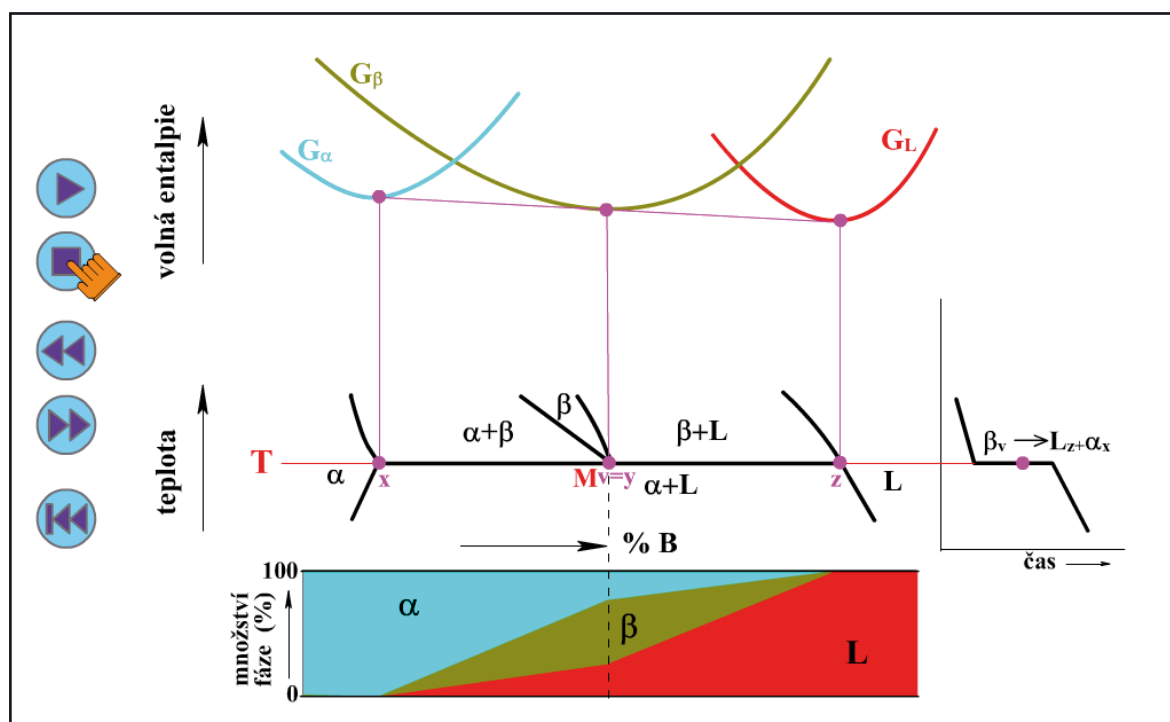


9: Průběh peritektické přeměny

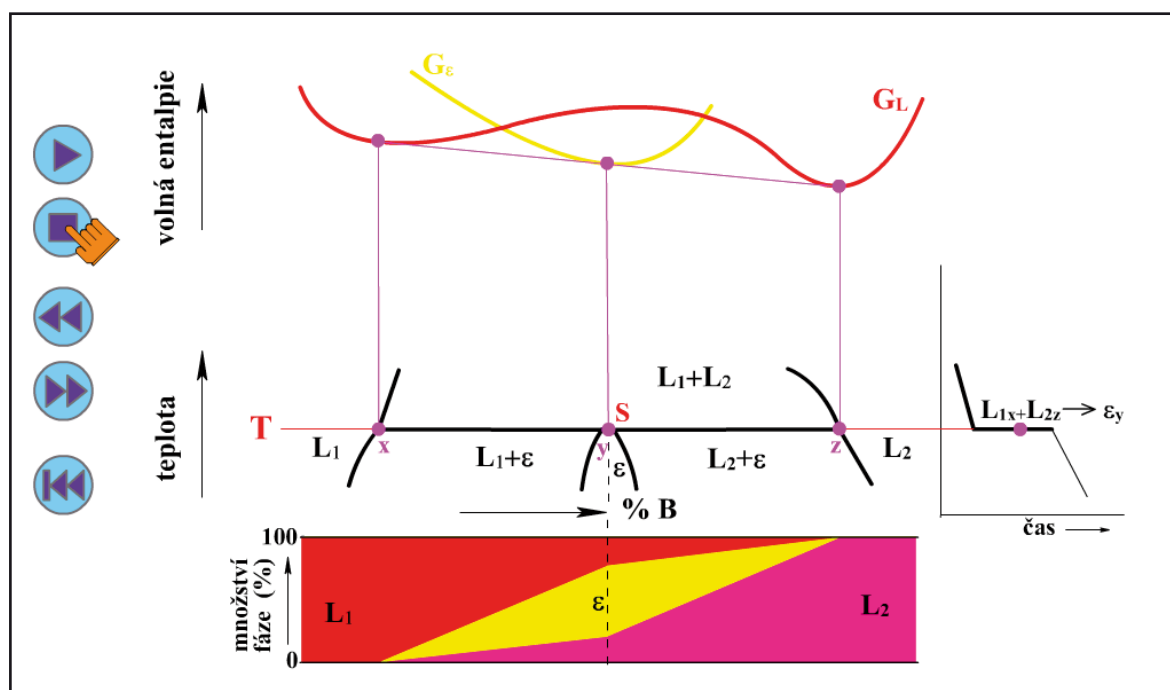


10: Průběh monotektické přeměny





12: Průběh metatektické přeměny



13: Průběh syntetické přeměny

Na Obr. 7 až 13 je zobrazen průběh sedmi zbývajících nonvariantních transformací. Při podrobném rozboru animací, které plynule zachycují nonvariantní přeměny, lze pozorovat některé společné rysy, ale také řadu odlišností.

Společné rysy nonvariantních přeměn:

- Křivka chladnutí pro slitinu procházející nonvariantním bodem vykazuje vodorovnou prodlevu (uvolňování skupenského tepla fázové přeměny). V některých rovnovážných diagramech se však setkáváme s tzv. kongruentními přeměnami, které se vyznačují také vodorovnou prodlevou na křivce chladnutí, přitom se nejedná o nonvariantní přeměnu (např. rovnovážné diagramy typu RII, RIII).
- Nonvariantní reakce se zúčastňují tři fáze, jejichž chemické složení se v průběhu reakce nemění (body x , y , z za teploty nonvariantní přeměny).
- Hmotnostní množství koexistujících fází se v průběhu nonvariantní reakce mění. Nelze ho vyjádřit pomocí pákového pravidla. Na hmotnostní množství fází můžeme usuzovat z polohy bodu na křivce chladnutí a nebo z okamžitého tvaru Sauverova diagramu.
- V rovnovážných diagramech s nonvariantní přeměnou se vždy vyskytuje vodorovná přímka, která odpovídá teplotě nonvariantní přeměny (u diagramů s kongruentními přeměnami tato čára chybí). Buď-li chemické složení slitiny přesně odpovídat poloze nonvariantního bodu (tj. bodu y), pak veškeré množství slitiny se přemění podle jedné z osmi nonvariantních reakcí. Jestliže chemické složení slitiny neodpovídá bodu y , ale leží mezi body x a z , potom nastane nonvariantní přeměna jen u části hmoty. Zbytek hmoty, který zůstane fázově nezměněn, můžeme zjistit pákovým pravidlem.
- Dle Gibbsova zákona fází v nonvariantním bodě existuje 0 stupňů volnosti (bod leží v průsečíku určité teploty a určité koncentrace).
- Nonvariantní bod y (tj. bod eutektický, eutektoidní, peritektický...) vždy leží na nonvariantní přímce mezi body x a z .
- V průběhu nonvariantní reakce se křivky volné entalpie všech tří koexistujících fází nemění a lze je proložit společnou tečnou.
- Při ohřevu probíhají opačné procesy než při ochlazování.

Zvláštnosti jednotlivých nonvariantních přeměn

- Produktem peritektické, peritektoidní a syntetické přeměny při ochlazování je jediná fáze, heterogenní slitina se tedy změní na homogenní. U zbývajících pěti nonvariantních transformací (eutektická, eutek-

toidní, monotektická, monotektoidní, metatektická) se naopak jediná fáze rozpadá na fáze dvě. V tomto případě se původně homogenní struktura mění na heterogenní. V Sauverově diagramu nastávají opačné změny, než u prvních jmenovaných reakcí.

- Při eutektoidní, peritektoidní a monotektoidní reakci probíhají jen fázové přeměny v tuhém stavu. Ve zbývajících nonvariantních transformacích je přítomna i tavenina.
- Pro průběh monotektické a syntetické reakce je nutná přítomnost dvou tavenin (částečná rozpustnost v kapalném stavu). Smíšením dvou roztavených kovů vznikne technicky použitelná slitina jen tehdy, když směs je v tekutém stavu jedinou fází. Vzniknou-li dvě tekuté fáze, rozdělují se podle hustoty a jednotná slitina není možná.
- Při monotektoidní reakci se tvoří tuhé roztoky β_1 , β_2 se stejnou krystalickou mřížkou, ale rozdílným chemickým složením.
- U metatektické transformace se při teplotě nonvariantní přeměny krystaly tuhého roztoku β rozloží za parciálního tavení, vznikne tavenina a nové krystaly α .
- Některé nonvariantní přeměny probíhají snadno (např. eutektická), jiné částečně a nebo vůbec neproběhnou (např. peritektoidní – difúze v tuhých roztocích probíhá velmi pomalu).
- Vodorovná nonvariantní přímka v některých rovnovážných diagramech má určitou souvztažnost se solidem či likvidem. Eutektická přímka je totožná se solidem, zatímco syntetická přímka odpovídá likvidu. Při peritektické přeměně část nonvariantní přímky (x - y) splývá se solidem, při monotektické transformaci úsek y - z je částí likvidu.

ZÁVĚR

Komplexní studium nonvariantních fázových přeměn v binárních soustavách je velmi náročné na představitelství nejen pro studenty, ale i zkušené metalografy. Autory vytvořená počítačová animace nabízí možnosti, které nemůže poskytnout tištěná publikace:

- znázorňuje plynulý průběh fázových přeměn při ochlazování (i ohřevu) ve všech souvislostech,
- umožňuje fázovou přeměnu kdykoliv zastavit a postupovat vpřed či vzad po krocích,
- na monitoru lze sledovat a porovnávat průběh několika nonvariantních transformací probíhajících současně (např. přeměnu eutektickou, eutektoidní, peritektickou a peritektoidní); tím lépe vyniknou společné rysy i odlišnosti jednotlivých fázových přeměn.

SOUHRN

Nonvariantní fázové přeměny v binárních rovnovážných diagramech vykazují některé společné rysy, ale i řadu odlišností. Autoři s využitím výpočetní techniky sestavili interaktivní animaci, která v mnoha souvislostech zachycuje časový průběh osmi nonvariantních přeměn. Pomocí vytvořeného programu lze jednoznačně a názorně popsat a vysvětlit podstatu všech nonvariantních transformací.

rovnovážné diagramy, nonvariantní přeměny, Macromedia Flash, interaktivní animace

LITERATURA

- FILÍPEK, J.: Binární rovnovážné diagramy. Trendy technického vzdělávání. UP Olomouc. 22.–23. června 2004. s. 412–415. ISBN 80-7220-182-4.
- MOLLIKOVÁ, E.: Fyzika materiálu. T7 – Entalpické diagramy. <http://ime.fme.vutbr.cz/>.
- OULEHLA, J.: Materiály v elektrotechnice a elektrotechnice – I. VAAZ Brno, 1994.
- PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu I. CERM Brno, 2001. ISBN 80-7204-193-2.
- SCHUMANN, H.: Metallographie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1987.
- SODOMKA, J.: Rovnováhy v binárních soustavách. ČVUT Praha, 1978.

Adresa

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