

Oponentský posudek doktorské disertační práce Ing. Viery Gärtnerové: Mikroprocesy plastickej deformácie a mechnizmy porušenia v polykryštallickom horčíku a vybraných horčíkových zliatinách

Aktuálnosť riešeného tématu. Predmetom práce bolo studium deformačných charakteristik pro deformaci v tahu, tlaku a po rázových zkouškách v závislosti na složení kompozitů na bázi AZ91 a jejich změně s teplotou. Dále bylo studováno plastické chování slitiny Mg-0,7hm.%Nd v závislosti na teplotě a rychlosti deformace. Jsou popisovány mikromechanismy, které by mohly chování studovaných slitin vysvětlit.

Hořík je nejlépe konstrukční materiál, avšak vzhledem k jeho nepříznivým mechanickým vlastnostem z hlediska technických aplikací se proto používají jeho slitiny s Al, Zn, Mn, Zr atp. Lehké hoříkové slitiny spolu s hliníkovými slitinami jsou v poslední době v popředí zájmu vzhledem k jejich využití jako konstrukčních materiálů pro výrobu zdokonalených dopravních prostředků.

Použité metody a postupy. Studovaný materiál byl deformován v jednoosém tahu a tlaku s konstantní rychlostí a při teplotách od pokojové do 300°C s krokem 50°C. Byla využita též metoda deformace pomocí napěťových relaxací. Dále byly provedeny rázové testy opět při teplotách od pokojové do 300°C. Ke studiu mikrostruktury byla použita světelná mikroskopie a rastrovací elektronová mikroskopie včetně rentgenové chemické analýzy.

Výsledky práce a nové vědecké poznatky. Přínos práce spočívá v stanovení mechanických vlastností tří kompozitů na bázi AZ91 a slitiny Mg-0.7 hm% Nd. Pomocí teoretických modelů převzatých z literatury a některých měření byly navrženy fyzikální mechanismy, které mohou tyto vlastnosti vysvětlovat. To umožňuje do jisté míry předvídatelnost chování jiných slitin nebo kompozitů obdobného složení. Získané výsledky je možné shrnout následovně:

Mikrostruktura kompozitů AZ91 v nedeformovaném stavu po tepelném zpracování (stanovená REM, REM po leptání a REM-EDAX) byla v souladu s dřívějšími pozorováními. Přidání 3hm.%Si do kompozitu s částicemi SiC neovlivňuje rozložení jednotlivých fází.

Ve srovnání s nezpevněnou slitinou AZ91 dochází u kompozitů při teplotách do 100°C k deformačnímu zpevnění nejen v důsledku nedostatku aktivních skluzových systémů v *hcp* mřížce, ale i v důsledku zpevňující fáze. K nebazálnímu skluzu dochází až při vyšších teplotách. Současně dochází k odpevnění způsobenému relaxací napětí šplháním a anihilací dislokací nahromaděných na vláknech a dalších překážkách. Příspěvek SiC částic ke zpevnění je výrazně nižší než příspěvek safilových vláken, homogenita rozložení SiC částice je nižší. V tabulce 7.2 jsou vypočtené příspěvky ke zpevnění na mezi skluzu od jednotlivých modelů. Hlavním příspěvkem je přenos napětí z matrice na zpevňující fázi, dalším je zvýšená hustota dislokací v důsledku rozdílných koeficientů tepelné roztažnosti matrice a zpevňující fáze a přítomnost geometricky nutných dislokací v důsledku nekompatibility rozhraní matrice-vlákno. Ke zpevnění přispívá i rozdílná velikost zrna slitiny a kompozitu.

Mikromechanismus porušování je vysvětlován na základě REM obrázků lomových ploch po rázu a porovnáním jednotlivých fází s fázemi v AZ91 určenými rentgenovou a metalografickou analýzou. Charakter je podobný u všech kompozitů v celém teplotním rozsahu. Lom se šířil převážně po částicích a γ -fázi v blízkosti částic. Přídavek Si, který vede k vzniku Mg₂Si fáze, se jeví z hlediska vrubové houževnatosti jako nepříznivý.

Mikrostruktura Mg-0,7 hm.% Nd po tepelném zpracování je tvořena velkými polyedrickými zrny (0,5 – 3 mm) tuhého roztoku Nd v Mg. U této slitiny nedochází k výraznému poklesu zpevnění ani výrazné změně deformace do lomu ani při vyšších teplotách (obr. 7.21). Konstantní průběh charakteristických napětí s teplotou je důsledek dynamického deformačního stárnutí, které se projevuje nespojitostí plastické deformace označovanou jako Portevin-Lê Chatelierův jev. Tato nespojitost může též souviset s tvorbou deformačních dvojčat. Aby bylo prokázáno deformační stárnutí byly provedeny relaxační testy. Ostrá mez skluzu pozorovaná na relaxačních křivkách se

vzrůstající teplotou ukazuje na přítomnost deformačního stárnutí a je nepřímým důkazem interakce příměsových atomů s dislokacemi. Deformační dvojčata byla zviditelněna světelným mikroskopem v polarizovaném světle. Lomové plochy po deformaci v tahu ukazují transkrystalické tvárné porušení při všech teplotách.

Podle seznamu literatury je zřejmé, že výsledky práce byly publikovány nejméně v 6 recenzovaných odborných časopisech a presentovány na mezinárodních konferencích.

Hodnocení práce po formální stránce. Předložená práce je metodicky ucelená a je napsána přehledně. Je rozdělená do 8 kapitol. Po stručném úvodu, druhá – teoretická - kapitola představuje shrnutí základních vlastností a mechanismů plastické deformace hexagonálních kovů a kompozitů s kovovou maticí, a také obecně zpevnění a odpevnění polykrystalů. Třetí kapitola stručně popisuje vlastnosti hořčíku a jeho slitin a možnosti jejich využití v technické praxi. Následuje popis použitých metod, postupů a experimentálních zařízení. V páté kapitole jsou stanoveny cíle práce, šestá je věnována použitému materiálu. Jádrem práce je sedmá kapitola, kde jsou presentovány a diskutovány získané výsledky studia. Následuje Závěr se shrnutím hlavních výsledků a možnostmi dalšího studia a Seznam literatury.

Práce je pěkně a pečlivě uspořádána po grafické i typografické stránce. Vhodný je seznam použitých zkratk uvedený na začátku. Obrázky mikrostruktury, jak s použitím světelné mikroskopie, tak s použitím rastrovacího mikroskopu, mají dobrou kvalitu. V práci se vyskytuje malý počet formálních chyb. Upozornila bych na nesprávné používání obj.% u prvků. Z obr. 6.2 není zřejmé uspořádání safilových vláken, popis k obrázku není postačující. Není uvedeno pro jakou teplotu je vypočtena tabulka 7.2.

Objektivní a kritický rozbor práce. Práce představuje soubor velkého počtu nových výsledků. Byla provedena řada vzájemně se doplňujících deformačních měření, která jsou provedena velmi pečlivě a presentována přehlednou formou. Kvalita obrázků dokumentujících mikrostruktury je velmi dobrá.

Kritické připomínky. Některé navrhované mechanismy zpevnění jsou založeny na dislokačních modelech. Na jejich přítomnost je usuzováno pouze nepřímo z literárních údajů. Bylo by přesvědčivější prokázat je přímo transmisí elektronovou mikroskopií.

Pro případné praktické aplikace výsledků práce by bylo vhodné diskutovat je více s výsledky publikovanými na podobných kompositech nebo slitinách Mg, například slitinách zmiňovaných v kapitole 3. Takové porovnání je provedeno pouze pro základní slitinu AZ91 a to na jediném obrázku 7.9.

Práce není doplněna přílohou publikací zveřejněných v recenzovaných časopisech.

Dotazy

- Z jakých důvodů byl do kompozitu s částicemi přidáván Si a proč nebyl přidán i do dalších kompozitů? Který typ kompozitu má nejlepší mechanické vlastnosti?
- Jsou pozorovaná dvojčata výhradně deformačního charakteru?

Závěr. Dosavadní výsledky i publikační činnost doktorandky prokazují její vědecký přístup k práci. Prokázala schopnost samostatné práce, zvládnutí jak řady různých technik, tak přípravu vzorků. Má předpoklady pro další odborný růst. Oceňuji zejména její samostatnost, pečlivost a pracovitost.

Posuzovaná práce splňuje obecně uznávané požadavky na disertační práci a doporučuji ji přijmout k obhajobě. Současně navrhuji, aby po úspěšném obhájení byl Ing. Viera Gärtnerové udělen titul PhD.

V Praze 14. února 2007



Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.