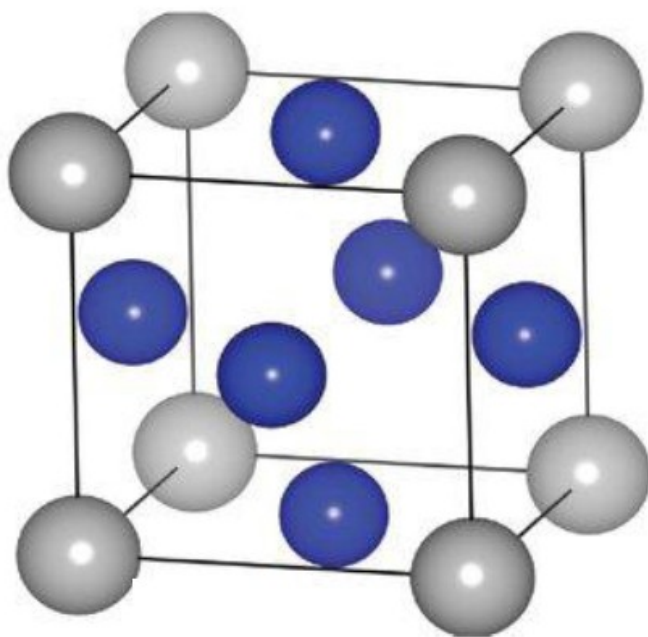


Výzkum precipitačních procesů ve slitinách na bázi Al-Yb

1. Úvod do problematiky

Prvky vzácných zemin jsou používány jako příměsi v hliníkových (Al) slitinách pro zlepšení pevnosti v tahu, teplotní stability mechanických vlastností i pro zlepšení korozní odolnosti [1]. Tradičně používaným prvkem je skandium (Sc), které má v Al matrici velmi nízkou rozpustnost (max. 0.21 at.%) a nízkou difuzivitu [2,3]. Příkladem slitiny na bázi Al-Sc je vysoce pevná slitina Scalmalloy® (Al-4.5Mg-0.7Sc-0.3Zr-0.5Mn) [4] vyvinutá především pro letecké aplikace. Při homogenním rozptýlení v Al matrici vytváří Sc drobné precipitáty fáze Al_3Sc s kubickou $L1_2$ strukturou [5-7]. Částice Al_3Sc jsou koherentní s Al mříží a umožňují dosáhnout vysokého zpevnění slitiny [8]. Nárůst pevnosti slitiny je 1 GPa na jedno atomové procento Sc [9], což je jedna z nejvyšších hodnot zpevnění pro příměsi používané v Al slitinách.



Obrázek 1 (a) $L1_2$ struktura Al_3Sc fáze. Šedé atomy jsou Sc, modré Al.

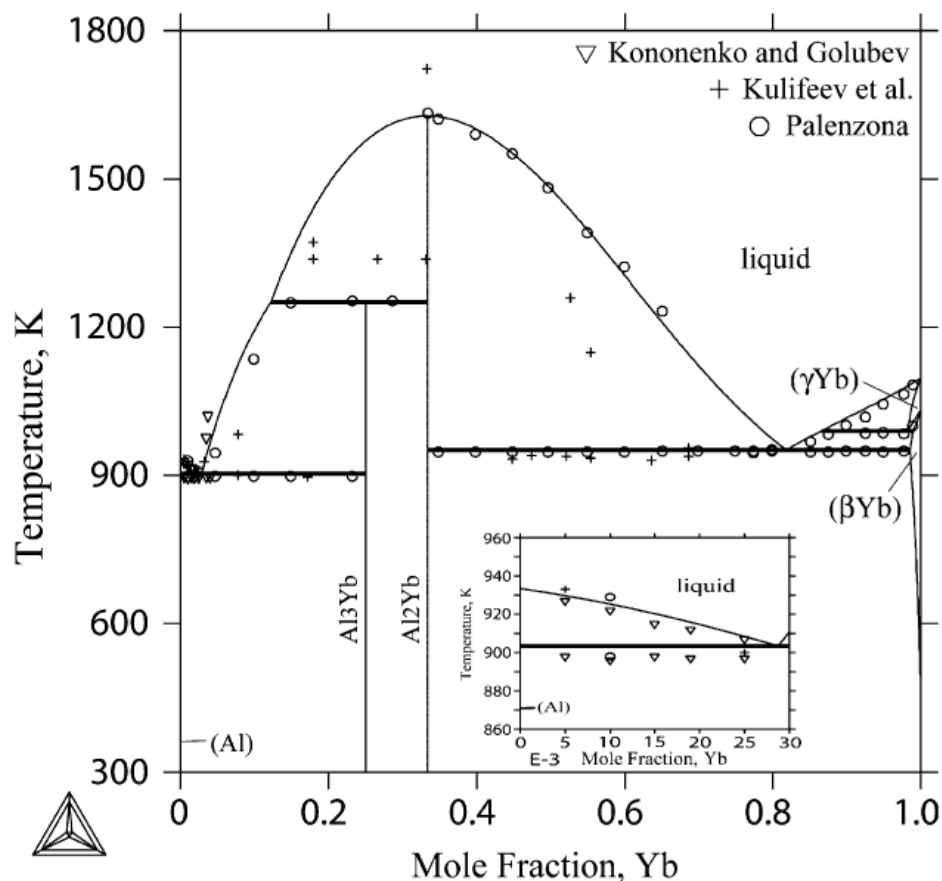
Nevýhodou Sc je ale velmi vysoká cena. Protože výskyt Sc v zemské kůře je extrémně vzácný jedná o jeden z vůbec nejdražších kovů. Cena 1 kg čistého Sc (99.99%) dosahuje hodnoty okolo půl miliónu Kč. Z tohoto důvodu probíhá intenzivní výzkum levnějších alternativ k Al-Sc slitinám. Nahrazení skandia ytterbiem je jednou ze slibných možností, kterou stojí za to prozkoumat. Ytterbium (Yb) je vzácná zemina ze skupiny lanthanoidů s protonovým číslem $Z = 70$. V Al slitinách se může Yb vyskytovat v divalentním nebo trivalentním stavu. Vaklenční stav Yb závisí na koncentraci

ostatních příměsí a má významný vliv na vlastnosti slitiny. Rovnovážný fázový diagram systému Al-Yb [10] vypočítaný metodikou CALculation of PHase Diagram (CALPHAD) [11] je na Obr. 2. Z fázového diagramu je patrné, že podobně jako Sc vytváří Yb v Al matrici fázi Al_3Yb (trivalentní Yb, analogie fáze Al_3Sc) a při vyšších koncentracích také fázi Al_2Yb , kde je Yb divalentní.

2. Cíl projektu

Cílem tohoto studentského projektu je prozkoumat mikrostrukturu a fyzikální vlastnosti binární slitiny Al-0.5wt.%Yb ($Al_{0.5}Yb$), která představuje modelový systém pro budoucí slitiny na bázi Al-Yb. Bude prozkoumáno rozpouštění Yb v Al matrici, rozpad přesyceného tuhého roztoku a precipitační procesy ve slitině $Al_{0.5}Yb$ a bude nalezeno teplotní zpracování vedoucí k maximálnímu precipitačnímu vytvrzení částicemi Al_3Yb .

Shlukování atomů Yb rozpuštěných v Al matrici umožňují vakance, které ve vzorku zůstávají po zakalení z vysokých teplot. Koncentrace těchto zakalených vakancí a jejich interakce s atomy příměsí je proto klíčová pro kinetiku shlukování atomů Yb. V tomto projektu bude pro výzkum vakancí a jejich chování v zakaleném materiálu použita pozitronová anihilační spektroskopie [12,13], která je nejcitlivější experimentální metoda pro výzkum vakancí a umožní prozkoumat mechanismus interakce vakancí a atomů Yb. Získané mikrostrukturní údaje budou porovnány s vývojem makroskopických mechanických vlastností (zpevněním) slitiny $Al_{0.5}Yb$.



Obrázek 2 Rovnovážný fázový diagram systému Al-Yb [10]

3. Postup řešení časový plán

Řešení projektu bude probíhat v období červen 2020 – duben 2021 v následujících krocích:

1. Prostudování dostupné literatury o systému Al-Yb, červen 2020
2. Příprava vzorků slitiny Al_{0.5}Yb: ingot odlité slitiny Al_{0.5}Yb je k dispozici na Katedře fyziky nízkých teplot. Z tohoto ingotu budou připraveny vzorky pro PAS a měření mikrotvrdosti, srpen 2020
3. Nalezení vhodného režimu rozpouštěcího žíhání vedoucího k rozpuštění maximálního množství Yb v Al matici. Vzorky odlité slitiny budou podrobeny izotermickému žíhání na teplotě 550 a 600°C. Každý žíhací krok bude zakončen zakalením do vody o teplotě 0°C a bude sledován vývoj mikrotvrdosti v závislosti na době žíhání, září - říjen 2020
4. Pomocí pozitronové anihilační spektroskopie bude provedena charakterizace vakancí zakalených ve slitině Al_{0.5}Yb po rozpouštěcím žíhání, listopad - prosinec 2020
5. Al_{0.5}Yb slitina po rozpouštěcím žíhání bude podrobena izochronnímu žíhání s krokem 20°C/20 min a bude sledován teplotní vývoj mikrostruktury (shlukování atomů Yb a vznik precipitátů Al₃Yb). Vývoj mikrostruktury bude korelován s monitorováním zpevnění pomocí měření mikrotvrdosti, leden – březen 2020
6. Vytvoření fyzikálního modelu shlukování atomů Yb rozpuštěných v Al matici a vzniku částic fáze obohacené Yb. Vliv této báze obsahující Yb na zpevnění materiálu. Sepsání zprávy a odevzdání zprávy, ukončení projektu, duben 2020

Projekt bude realizován na katedře fyziky nízkých teplot v laboratoři pozitronové anihilační spektroskopie (oddělení spinové fyziky). Testování mikrotvrdosti Vickersovou metodou bude prováděno na zařízení Duramin 5 (Struers). K výzkum vakancí budou použity dvě komplementární techniky pozitronové anihilační spektroskopie: měření dob života pozitronů, které umožňuje

charakterizovat typ poruch krystalické mřížky ve vzorku a zjistit jejich koncentraci, a koincidenční měření Dopplerovského měření anihilačního píku, které přináší informaci o lokálním chemickém okolí poruch. Měření dob života pozitronů bude prováděno na digitálním spektrometru [14] s časovým rozlišením 145 ps, koincidenční měření Dopplerovského rozšíření bude realizováno na spektrometru [15] vybaveném dvěma HPGe detektory s energetickým rozlišením 0.9 keV na energii 511 keV. Vývoj mikrostruktury slitiny Al0.5Yb bude studován pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu FEI Quanta 200F.

4. Očekávané výstupy projektu

Předpokládáme, že navrhovaný projekt významně přispěje k pochopení vlastností systému Al-Yb a objasní interakci vakancí s atomy Yb rozpuštěnými v Al matici. Informace o precipitačních procesech a zpevnění slitiny Al0.5Yb získané v tomto projektu jsou velmi důležité pro potenciální použití Yb jako náhrady Sc v lehkých vytvrditelných Al slitinách. Výsledky získané v tomto projektu budou publikovány ve významném mezinárodním odborném časopise.

5. Literatura

- [1] G. Cacciamani, R. Ferro, CALPHAD 25 (2002) 583.
- [2] T. B. Massalski (ed.), Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, 2nd edn., American Society for Metals, Metals Park, OH, 1990, p. 208.
- [3] S.-I. Fujikawa, M. Sugaya, H. Takei and K. Hirano, J. Less-Common Met., 63 (1979) 87.
- [4] https://dl.airtable.com/YJyJk165SK6cC03kYZR1_SCALMALLOY_REV0006.pdf
- [5] M.J. Jones, F.J. Humphreys, Acta Mater. 51 (2003) 2149.
- [6] M. Vlach, I. Stulíková, B. Smola, T. Kekule, H. Kudrnová, S. Daniš, R. Gemma, V. Očenášek, J. Málek, D. Tanprayoon, V. Neubert, Mater. Charact. 86 (2013) 59.
- [7] M. Vlach, J. Čížek, O. Melikhova, I. Stulíková, B. Smola, T. Kekule, H. Kudrnová, R. Gemma, V. Neubert, Metal. Mater. Trans. A 46 (2015) 1556.
- [8] K. Yu, W.X. Li, S.R. Li, J. Zhao, Mater. Sci. Eng., A 368 (2004) 88.
- [9] M. E. Dritz, G. B. Ber, Yu. G. Bikov, G. S. Toropova, G. K. Anastasbeva, Phys. Met. Metallogr. 57 (1984) 1172.
- [10] F.G. Meng, L.G. Zhang, H.S. Liu, L.B. Liu, Z.P. Jin, J. Alloys Compd. 452 (2008) 279.
- [11] L. Kaufman, H. Bernstein, Computer Calculation of Phase Diagrams, Academic Press, New York, 1970
- [12] P. Hautojärvi, P. Hautojärvi (Ed.), Positrons in Solids, Springer-Verlag, Berlin, 1979, pp. 1–24.
- [13] J. Čížek, Mater. Sci. Technology 34 (2018) 577.
- [15] F. Bečvář, J. Čížek, I. Procházka, J. Janotová, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 539 (2005) 372.
- [16] J. Čížek, M. Vlček, I. Procházka, Nucl. Inst. Methods Phys. Res. A 623 (2010) 982.