

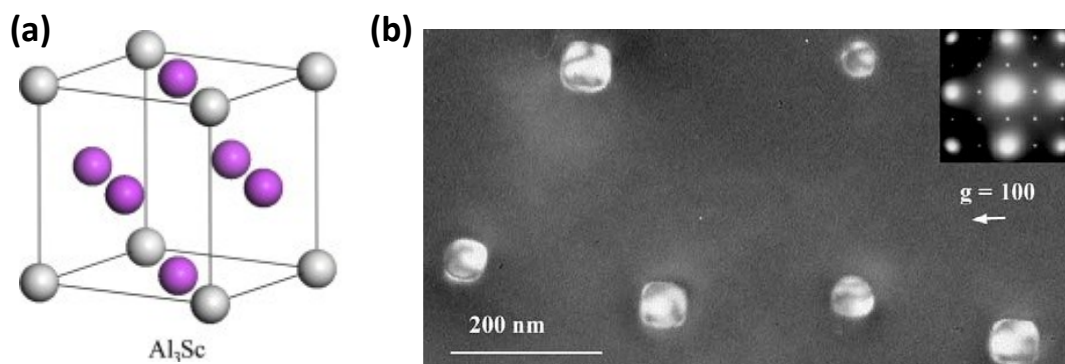
# Výzkum vakancí a precipitačních procesů v systému Al-Er

## 1. Úvod do problematiky

Skandium (Sc) má velmi nízkou rozpustnost (max. 0.21 at.%) a nízkou difuzivitu v hliníku [1,2]. Přidání malého množství Sc do hliníkových slitin vede k výraznému zlepšení jejich mechanických vlastností (např. pevnosti v tahu) [3]. Navíc Sc umožňuje dosáhnout vynikajícího vytvrzení [5]. Nárůst pevnosti na jednotku koncentrace příměsi dosahuje pro Sc hodnoty 1GPa/at.% [4], což je jedna z nejvyšších hodnot vytvrzení ze všech známých příměsí používaných v Al slitinách.

Al-Sc slitiny byly patentovány v roce 1971 v USA [6] a našly uplatnění v aplikacích, kde je nutná dostatečná pevnost a současně nízká hmotnost. Typickými příklady jsou letecký průmysl (např. ruská nadzvuková stíhačka MIG29 je letoun s největším obsahem Al-Sc slitin na světě), sportovní náčiní (tenisové rakety, basebalové pálky) nebo rámy bicyklů. Výrobce dopravních letadel, firma Airbus vyvinula v nedávné době pomocí práškové metalurgie speciální slitinu Scalmalloy® (Al-4.5Mg-0.7Sc-0.3Zr-0.5Mn) s vynikajícími mechanickými vlastnostmi určenou pro letecké aplikace [7].

Důvodem vynikajících mechanických vlastností Al-Sc slitin je vznik drobných částic  $Al_3Sc$  s kubickou  $L1_2$  strukturou [8-10], které jsou koherentní s Al mříží a vedou k velmi vysokému zpevnění Al matrice.



**Obr. 1** (a) Struktura  $Al_3Sc$  fáze. Šedé atomy jsou Sc, fialové Al. (b) Mikrofotografie kubických částic  $Al_3Sc$  v Al matrici z transmisního elektronového mikroskopu (tmavé pole) [8].

Hlavní nevýhodou Sc je velmi vysoká cena. Sc je jeden z vůbec nejdražších kovů, protože jeho výskyt v Zemské kůře je extrémně vzácný. Cena čistého Sc (99.99%) se pohybuje kolem 400 000,- CZK za kilogram. Je proto velmi žádoucí hledat levnější alternativy Al-Sc slitin [11]. Takovou alternativou by mohl být systém Al-Er. Erbium (Er) je vzácná zemina, ale jeho výskyt je podstatně vyšší než u Sc. V Al matrici by Er mohlo vytvářet částice fáze  $Al_3Er$  s analogickými vlastnostmi jako částice  $Al_3Sc$  [12].

## 2. Cíl projektu

Cílem tohoto studentského projektu je prozkoumat precipitaci Er v Al matrici a její vliv na vytvrzení slitiny Al-5wt.%Er (Al-5Er). Bude prozkoumána kinetika precipitace Er a nalezeno teplotní zpracování vedoucí k maximálnímu precipitačnímu vytvrzení částicemi  $Al_3Er$ .

Proces shlukování rozpouštěných atomů Er je řízen bodovými poruchami (vakancemi), které umožňují difúzi atomů Er. V tomto projektu bude proto použita pozitronová anihilační spektroskopie (PAS) [13,14] pro detailní studium interakce vakancí a atomů Er na atomární úrovni. PAS je nejcitlivější experimentální metoda pro výzkum bodových poruch a umožní prozkoumat mechanismus shlukování atomů Er a roli vakancí v tomto procesu. Získané mikrostrukturní údaje budou porovnány s vývojem makroskopických mechanických vlastností (tvrdosti) slitiny Al-5Er.

## 3. Postup řešení časový plán

Řešení projektu bude probíhat v následujících krocích:

1. Prostudování dostupné literatury o systému Al-Er

2. Příprava vzorků slitiny Al-5Er (Odlitá slitina Al-5Er je k dispozici na Katedře fyziky nízkých teplot. Z ingotu slitiny budou připraveny vzorky pro PAS a měření mikrotvrdosti).
3. Nalezení vhodného režimu rozpouštěcího žhání vedoucího k rozpuštění maximálního množství Er v Al matrici (bude provedeno měření vývoje mikrotvrdosti během izotermického žhání slitiny Al-5Er na různých teplotách v rozmezí 550-650°C)
3. Charakterizace vakancí zakalených ve slitině Al-5Er po rozpouštěcím žhání (pomocí PAS měření slitin zakalených po rozpouštěcím žhání)
4. Izochronní žhání slitiny Al-5Er a sledování vývoje mikrostruktury (shlukování atomů Er a vznik precipitátů, pomocí PAS) a makroskopických mechanických vlastností (precipitační zpevnění pomocí měření mikrotvrdosti)
5. Vytvoření fyzikálního modelu shlukování atomů Er rozpuštěných v Al matrici a vzniku koherentních částic Al<sub>3</sub>Er.

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). Studium anihilace pozitronů bude prováděno pomocí dvou navzájem komplementárních metod PAS: 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 [15] s časovým rozlišením 145 ps, koincidenční měření Dopplerovského rozšíření bude realizováno na spektrometru [16] vybaveném dvěma HPGe detektory s energetickým rozlišením 0.9 keV na energii 511 keV.

#### 4. Očekávané výstupy projektu

Předpokládáme, že navrhovaný projekt významně přispěje k pochopení vlastností systému Al-Er a interakce vakancí s atomy Er v Al matrici. Tyto informace jsou velmi důležité pro potenciální použití Er jako náhrady Sc v lehkých vytvrditelných Al slitinách. Výsledky získané v tomto projektu budou publikovány ve významném mezinárodním odborném časopise.

#### 5. Literatura

- [1] T. B. Massalski (ed.), Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1, 2nd edn., American Society for Metals, Metals Park, OH, 1990, p. 208.
- [2] S.-I. Fujikawa, M. Sugaya, H. Takei and K. Hirano, *J. Less-Common Met.*, 63 (1979) 87.
- [3] R. R. Sawtell and C. k. Jensen, *Metall. Trans. A*, 21 (1990) 421.
- [4] Torma, T., Kovacs-Csetenyi, E., Turmezey, T., Ungar, T. and Kovacs, I., *J. Mater. Sci.*, 24 (1989) 3924.
- [5] M. E. Dritz, G. B. Ber, Yu. G. Bikov, G. S. Toropova, G. K. Anastasbeva, *Phys. Met. Metallogr.* 57 (1984) 1172.
- [6] L.A. Willey, Aluminum Scandium Alloy, USA Patent US3619181 A (1971).
- [7] [https://dl.airtable.com/YJyJk165SK6cC03kYZR1\\_SCALMALLOY\\_REV0006.pdf](https://dl.airtable.com/YJyJk165SK6cC03kYZR1_SCALMALLOY_REV0006.pdf)
- [8] M.J. Jones, F.J. Humphreys, *Acta Mater.* 51 (2003) 2149.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] U.S.G. Survey. Metal Prices in the United States through 1998. Reston, VA: US Geological Survey.
- [12] T. Yu, B. Li, A. Medjahed, L. Hou, R. Wu, J. Zhang, J. Sun, M. Zhang, *Mater. Char.* 147 (2019) 146.
- [13] P. Hautojärvi, P. Hautojärvi (Ed.), *Positrons in Solids*, Springer-Verlag, Berlin, 1979, pp. 1–24.
- [14] 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.