

Slitiny titanu, zirkonia a slitiny s vysokou entropií pro vnitřní vestavby jaderných reaktorů generace IV

Leoš Křivský

15.09.2022

Charakteristika reaktorů generace IV

- Chladiva – tekuté kovy (Na, Pb, PbBi), plyny (He, CO₂), taveniny solí, superkritická voda = korozní poškození, degradace
- Vyšší provozní teploty (500 – 1000 °C)
- Více obohacená paliva = vyšší radiační poškození

 vyšší nároky na konstrukční materiály

Reaktory generace 4

Reaktor	Provozní podmínky	Chladicí médium	Rizika
ALLEGRO	580 °C, 7 MPa	Helium	Vysokoteplotní koroze
ALFRED	480 – 700 °C	Tekuté olovo	Koroze, křehnutí
SuperCritical Water Cooled Reactor	625 °C, 25 MPa	Superkritická voda	Koroze (SCC)
Molten Salt Reactor	600 – 700 °C	Taveniny solí	Koroze

Podmínky pro nové konstrukční materiály

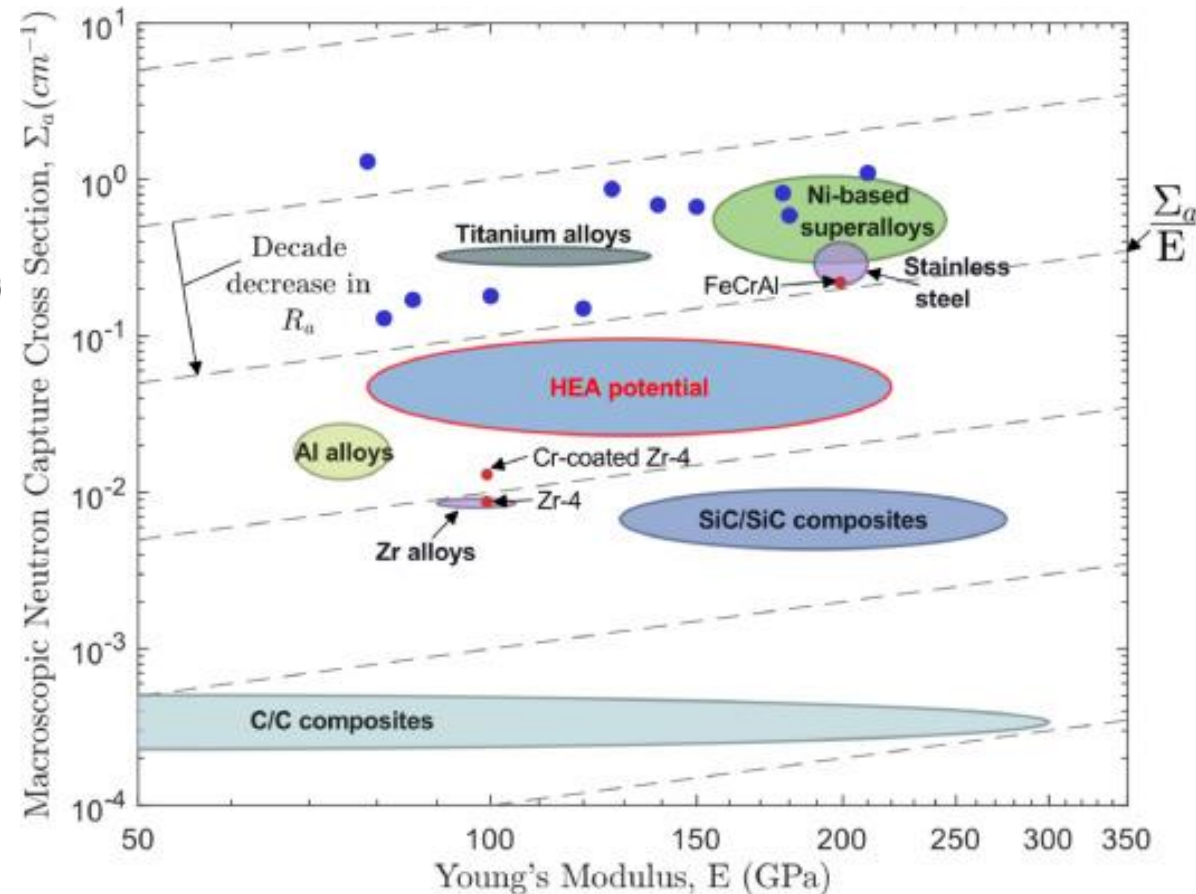
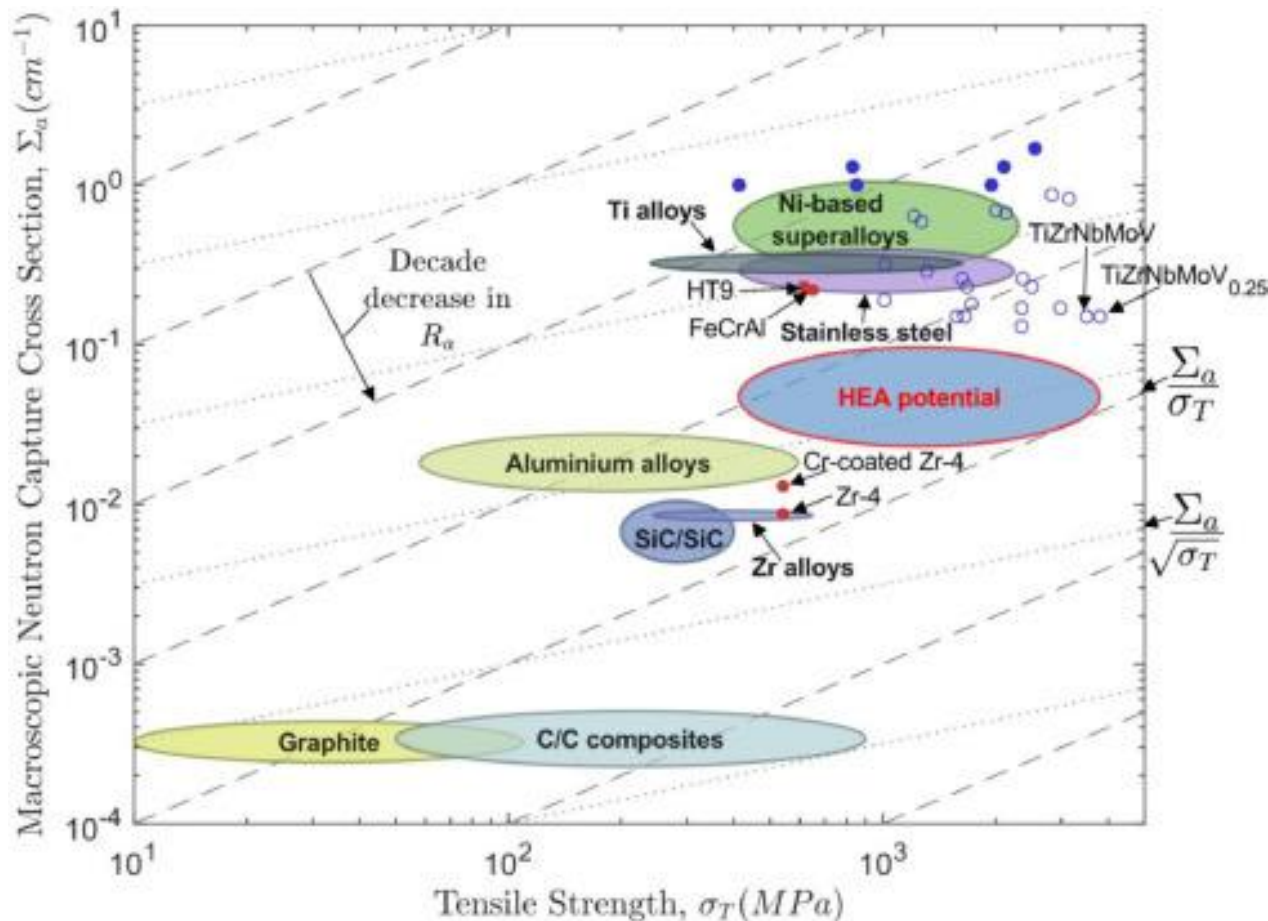
- Korozní odolnost (vysokoteplotní oxidace, agresivní chladící média)
- Odolnost vůči vysokým teplotám (až 700 – 1000 °C)
- Vyšší radiační odolnost (radiační křehnutí)

 nové konstrukční materiály

Skupiny nových konstrukčních materiálů

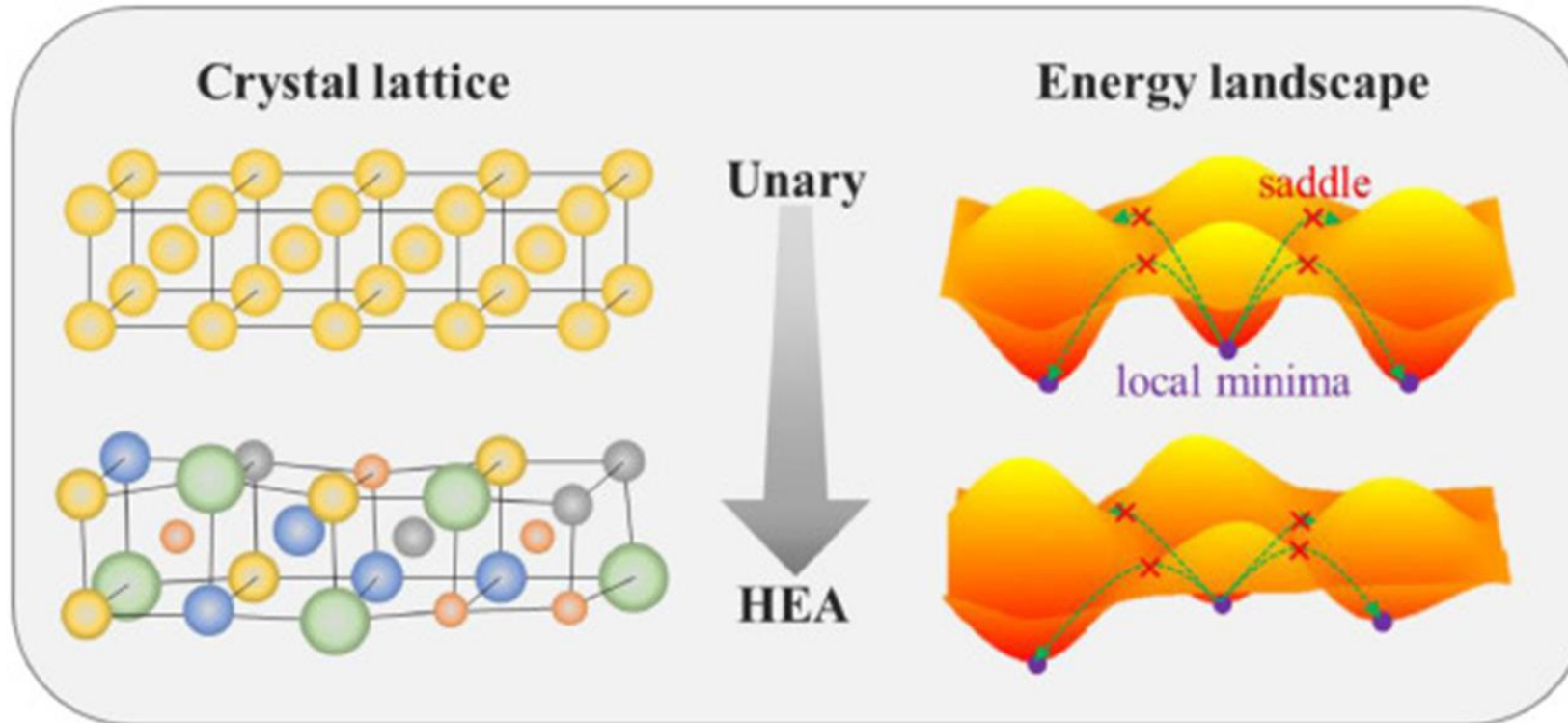
- Slitiny titanu
- Slitiny zirkonia
- HEA slitiny (high entropy alloys)
- Nové RPV oceli (Reactor Pressure vessel)
- Niklové superslitiny, keramické kompozity (Al_2O_3), SiC materiály

Skupiny nových konstrukčních materiálů



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311522003002>

HEA slitivity



Al_{2.5}CrFeCoNiCu

FeCoNiCr

MoNbCrZrTi

ZrNbHfTa.....

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022311522003002>

Zkoumané slitiny

- IMI 834 – titanová slitina (Al, Zr, Sn)
- Zr-12Nb, Zr-15Nb, Zr-6Sn-4Nb
- HEA – NbTiZr, MoNbTiVZr, CrMoNbTiVZr, CrMoNbTaTiV....

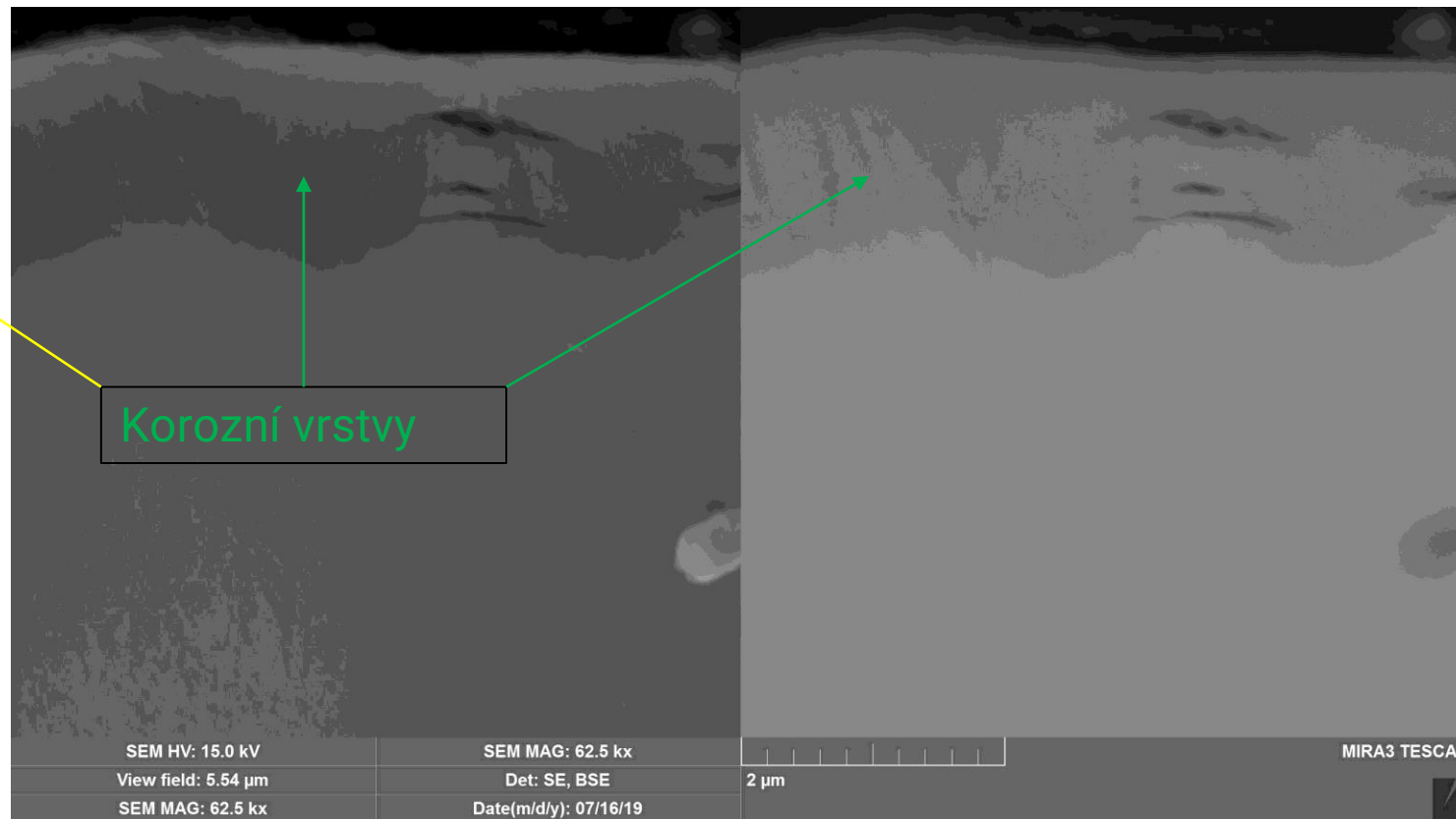
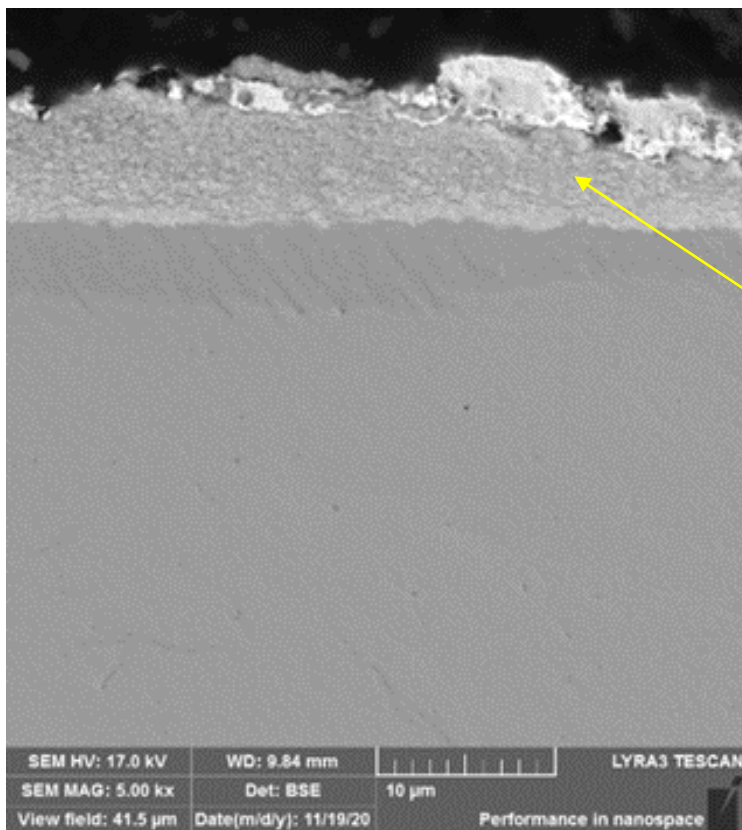
Potenciální omezení HEA slitin

- Cena – vzácné prvky (hafnium, niob, niobium, tantal)
- Výrobní postupy – aditivní technologie, slinování, sinterace
- Vysoká aktivace prvků – radioaktivní odpad

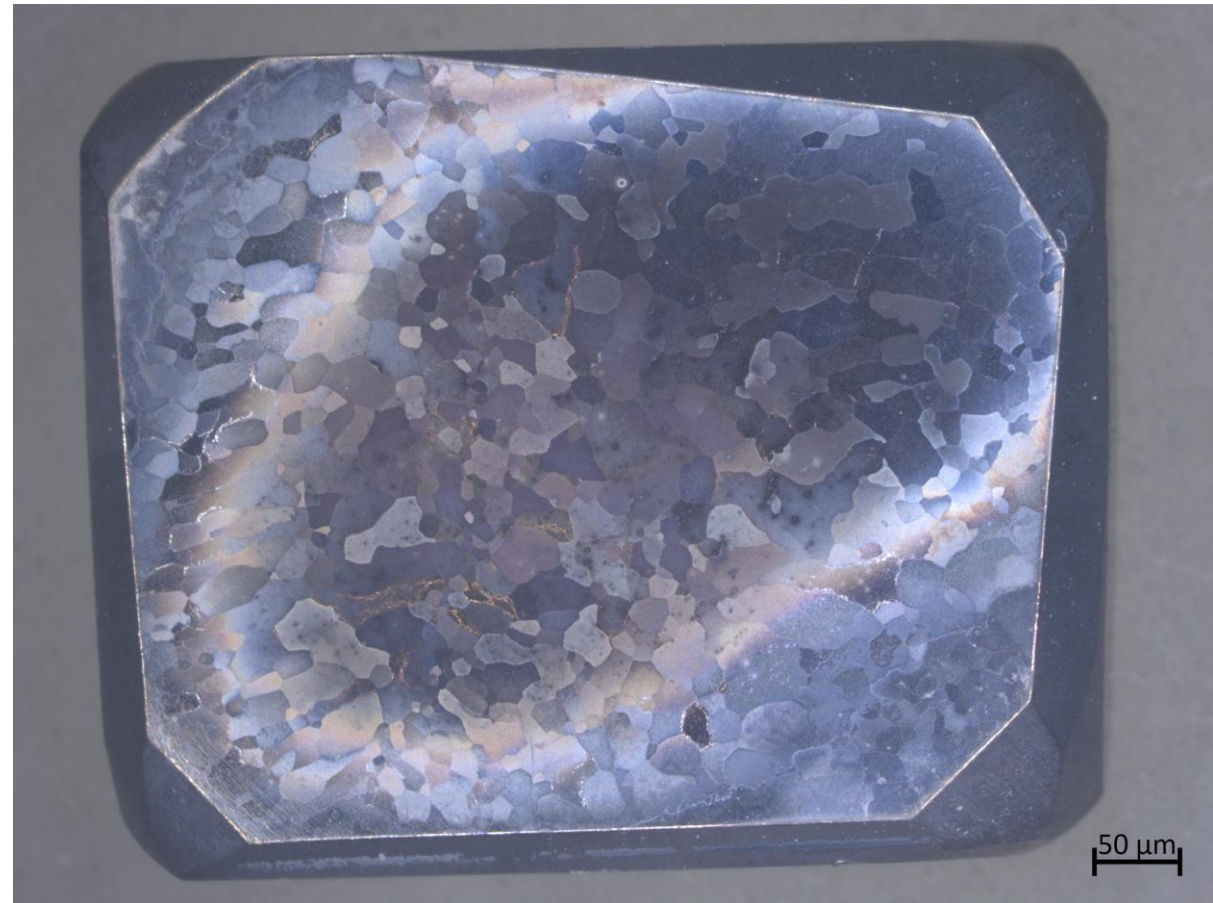
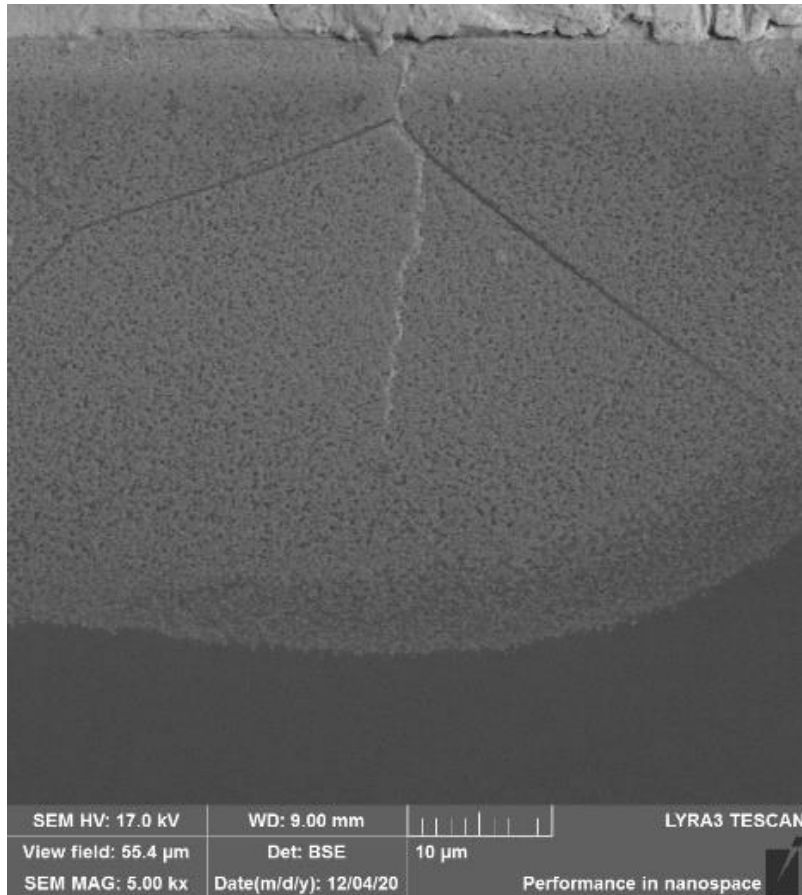
Výzkum v rámci CVŘ

- Projekt TAČR MKM – spolupráce s MFF UK, AMHEA (v přípravě)
- Charakterizace titanových, zirkoniových, HEA slitin před a po ozařování
- Korozní testy – PWR (s/bez H₂), Pb, Pb(Li), He
- Mechanické zkoušky – tahové zkoušky, cyklická únava
- Mikrostrukturní analýzy – SEM + EDS, EBDS, TEM, nanoindentace

Zr-12Nb



HEA - Nb₂TiVZr₂



Děkuji za pozornost

Leos.krivsky@cvrez.cz