



FAKULTA  
CHEMICKÉ TECHNOLOGIE  
VŠCHT PRAHA

# Studentská Vědecká Konference

# 2024

## Kovové materiály

28.11. 2024

PROGRAM AKCE  
ANOTACE PRACÍ

## **OBSAH**

Časový plán konference	02
Kovové materiály I.	03
Kovové materiály II.	11
Kovové materiály III.	19
Kovové materiály – restaurování	27

**Poslední aktualizace údajů: 18.11. 2024**

## Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství (106)

### ÚSTAVNÍ KOORDINÁTOR SVK 2024

Ing. Jan Šerák, Ph.D.

### SEZNAM SEKČÍ

Kovové materiály I.

Kovové materiály II.

Kovové materiály III.

Kovové materiály – restaurování

### ORIENTAČNÍ ČASOVÝ PLÁN

#### Přednášková sekce

Začátek	Konec	Posluchárna A50	Počet účastníků
09-00	10-15	Kovové materiály I.	7
10-20	11-35	Kovové materiály II.	7
11-40	12-55	Kovové materiály III.	7
13-00		Prezentace sponzorů SVK	
13-30		Společné vyhlášení výsledků v sekcích v posluchárně A50	

#### Posterová sekce

Začátek	Konec	Hlavní chodba ústavu 106	Počet účastníků
10-00	11-00	Kovové materiály - restaurování	6
13-30		Společné vyhlášení výsledků v sekcích v posluchárně A50	

Uvedené časy jsou orientační a mohou se změnit v důsledku neočekávaných okolností.

# Kovové materiály I.

**MÍSTO:** POSLUCHÁRNA ÚSTAVU 106 (A50)

## KOMISE

doc. Ing. Jan Stoulil, Ph.D. (předseda)

doc. Ing. Alena Michalcová, Ph.D.

Ing. Petr Dvořák, Ph.D.

## PROGRAM

09:00 **Zahájení**

09:00 **Bc. Jan Blažek** (M2, doc. Ing. Jaroslav Fojt, Ph.D.)

*Vliv stavu povrchu na korozní chování 3D tištěné slitiny TiAlV*

09:10 **Kateřina Caldwellová** (B3, prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch)

*Příčiny nevyhovujících mechanických vlastností 3D tištěné slitiny Ti-6Al-4V*

09:20 **Bc. Richard Kubík** (M1, prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch)

*3D tisk metodou WAAM*

09:30 **David Mašát** (B3, doc. Ing. Jiří Kubásek, Ph.D.)

*Vliv mechanického legování a sintrace v plazmatu na mikrostrukturu austenitické oceli*

09:40 **Bc. Daniela Medová** (M1, prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch)

*Vlastnosti slitiny Ti-6Al-4V vyrobené technologií přímé energetické depozice*

09:50 **Bc. Jáchym Paleček** (M2, Ing. Richard Bureš, Ph.D.)

*Modelové slitiny jako simulace alternativních povlaků*

10:00 **Bc. Jan Štoviček** (M2, doc. Ing. Jiří Kubásek, Ph.D.)

*Částečně biologicky odbouratelné kompozitní materiály titanu a zinku*

## Vliv stavu povrchu na korozní chování 3D tištěné slitiny TiAlV

**Bc. Jan Blažek (M2)**

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Fojt, Ph.D.

Aditivní výroba (3D tisk) umožňuje vyrobit z prášků biomateriálové scaffoldy, které dokážou napodobit vlastnosti lidské kosti a svými přesnými rozměry splňují nároky konkrétního pacienta. Nicméně, povrchový stav, charakterizovaný částečně roztavenými částicemi prášku, činí materiál náchylným k nehomogenní korozi. Je proto nutné daný povrch dále vylepšit různými úpravami. Cílem této práce bylo porovnat korozní chování, zejména náchylnost k nerovnoměrnému koroznímu napadení, různých povrchových stavů (bez úprav, laserem ošetřený, leptaný ve směsi  $\text{HNO}_3 + \text{HF}$  a anodizovaný) a dvou různých morfologií (diamant a gyroid) v různých korozních médiích simulujících tělní tekutiny. Vzorky byly porovnány pomocí cyklické potenciodynamické polarizace a dalších elektrochemických metod využívajících střídavý i stejnosměrný proud. Vzorky vykazují zvýšenou korozní odolnost zejména po chemické a elektrochemické úpravě. V porovnání s gyroidní strukturou vykazuje diamant relativně vyšší odolnost proti lokalizované korozi, která se navíc výrazně zvýšila po leptání a následné anodizaci. 3D tištěné TiAlV scaffoldy také vykazují přiměřenou bioaktivitu a schopnost tvorby apatitu v simulované tělní tekutině.

## *Příčiny nevyhovujících mechanických vlastností 3D tištěné slitiny Ti-6Al-4V*

**Kateřina Caldová (B3)**

Školitel: prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch

Slitina Ti-6Al-4V (hm. %) připravená metodou selektivního laserového tavení (selective laser melting, SLM) nachází široké uplatnění v medicíně, a to především díky své vysoké biokompatibilitě a možnosti vytvořit složité geometrie prostřednictvím 3D tisku. Zkoumané vzorky ovšem nevykazují vhodné mechanické vlastnosti. Zejména tažnost takto připravené slitiny je značně nevyhovující. V rámci práce byly zkoumány lomové plochy vzorků po tahové zkoušce a pomocí skenovací elektronové mikroskopie hodnocena topografie povrchu. Dále byla hodnocena mikrostruktura z podélných řezů. Byly nalezeny a popsány defekty charakteristické pro metodu zpracování. Na základě obrazové analýzy byla vyhodnocena plošná porozita a pomocí  $\mu$ -CT a softwaru Dragonfly byly dále vyhodnoceny objemové defekty (plynové bubliny, trhliny). Výsledky byly porovnány s naměřenými mechanickými vlastnostmi.

## *3D tisk metodou WAAM*

**Bc. Richard Kubík (M1)**

Školitel: prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch

Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) je metoda 3D tisku kovů, která využívá elektrický oblouk k postupnému vrstvení materiálu ve formě drátku jeho navařováním podobně jako při klasických metodách svařování. WAAM představuje zajímavou alternativu ke konvenčním subtraktivním metodám, kde je materiál odebírán, a nabízí výhody zejména při tvorbě geometricky komplexních dílů. Velkou předností této metody je schopnost využívat široké spektrum svařitelných materiálů. Díky vysoké rychlosti nanášení materiálu, relativně nízkým provozním nákladům a nízkému množství odpadu si WAAM získává oblibu v průmyslových odvětvích, jako je letectví, automobilový průmysl či energetika.

V této práci byla použita korozivzdorná austenitická ocel 316L, která patří mezi vysokolegované oceli s nízkým obsahem uhlíku. Tato ocel, legovaná chromem, niklem a molybdenem, se vyznačuje vynikající odolností vůči korozi, vysokou tažností a dobrými mechanickými vlastnostmi i při zvýšených teplotách. Cílem této práce je provést podrobnou analýzu vzorku oceli 316L připraveného metodou WAAM, a to jak z hlediska mikrostruktury, tak i mechanických vlastností.

## *Vliv mechanického legování a sintrace v plazmatu na mikrostrukturu austenitické oceli*

**David Mašát (B3)**

Školitel: doc. Ing. Jiří Kubásek, Ph.D.

Austenitická korozivzdorná ocel zpevněná částicemi (ODS) se jeví jako jeden z možných materiálů vhodných pro aplikace za extrémních podmínek, od kterých je požadována vysoká pevnost, dobrá korozní odolnost a odolnost proti tečení. Přítomnost oxidických částic v matici austenitické oceli brání pohybu dislokací, což vede ke zlepšení mechanických vlastností jako jsou mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost. Při přípravě materiálu se však setkáváme s možnou nežádoucí precipitací karbidů chromu, které mají negativní dopad na korozní vlastnosti výsledné oceli.

Tato práce je zaměřena na zkoumání mikrostruktury austenitické ODS oceli připravené postupy práškové metalurgie. Cílem této práce je porovnat vliv podmínek mechanického legování s následnou konsolidací metodou SPS na mikrostrukturu oceli legované  $Y_2O_3$  a  $YH_2$ , který v průběhu přípravy precipituje v podobě  $Y_2O_3$ , a následné srovnání mechanických vlastností připravených materiálů.

## *Vlastnosti slitiny Ti-6Al-4V vyrobené technologií přímé energetické depozice*

**Bc. Daniela Medová (M1)**

Školitel: prof. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch

Slitina Ti-6Al-4V je nejvíce používanou titanovou slitinou a využívá se především v leteckém, automobilovém a medicínském průmyslu. Z této slitiny vyrábí převážně dentální a ortopedické implantáty, u nichž je vyžadována individualizace tvarů a velikostí pro jednotlivé pacienty. Tyto požadavky lze v současné době snadno a rychle realizovat využitím aditivní výroby. Technologie přímá energetická depozice (z angl. direct energy deposition, DED) spadá do metod aditivní výroby neboli 3D tisku. Jedná se o jednu z méně rozšířených technologií tisku kovových materiálů, přesto má několik výhod oproti ostatním metodám 3D tisku. Vysoká přesnost a možnost multimateriálového tisku, které technologie DED umožňuje, jsou vlastnostmi činící technologii DED perspektivní nejen při výrobě implantátů. Cílem této práce bylo zhodnocení vlastností slitiny Ti-6Al-4V vyrobené technologií DED a porovnání s tradičním tvářeným materiálem. V této práci byla slitina studována ve dvou stavech, tištěném a tištěném s následným žiháním k snížení vnitřního pnutí (820 °C/1,5 hodiny ve vakuu). Struktura byla pozorována pomocí stereomikroskopu, optického mikroskopu a skenovacího mikroskopu. Dále byly měřeny mechanické vlastnosti, včetně stanovení tepelné stability.

## *Modelové slitiny jako simulace alternativních povlaků*

**Bc. Jáchym Paleček (M2)**

Školitel: Ing. Richard Bureš Ph.D.

V současnosti jsou konstrukce z vysoko-pevnostních ocelí nejčastěji proti atmosférické korozi chráněny zinkovým povlakem. Nevýhodou tohoto povlaku je však riziko vzniku vodíkové křehkosti a použitelnost recyklovaných materiálů. Cílem studie je výzkum modelových slitiny hliníku s příměsí železa, zinku, cínu či bismutu, které by měly mít vyšší korozní potenciál ve spojení s ocelí a zároveň poskytovaly katodickou ochranu materiálu.

Tato práce se zaměřuje na popsání mikrostruktury materiálu s legujícími prvky Fe, Zn, Sn a Bi a jejich vlivu na vznik pasivní vrstvy. Fe a Zn ovlivňují vznik intermetalických fází, které ovlivňují anodickou a katodickou reakci při vzniku pasivní vrstvy. Rozložení Sn a Bi v mikrostruktuře je ovlivněno jejich koncentrací nebo tepelným zpracováním slitiny. Oba prvky destabilizují pasivní vrstvu. Cílem práce bude také popis jednotlivých intermetalických fází.

Kombinace těchto prvků se ve slitinách jeví jako efektivní strategie pro ochranu ocelových konstrukcí, zejména v agresivních prostředích, a může nabídnout alternativu k tradičním zinkovým povlakům pro dlouhodobé průmyslové aplikace. Výhodou je možnost využití Al odpadů s obsahem Fe.

## *Částečně biologicky odbouratelné kompozitní materiály titanu a zinku*

**Bc. Jan Štovíček (M2)**

Školitel: doc. Ing. Jiří Kubásek, Ph.D.

Titanové slitiny se staly jedním z nejčastěji používaných biomateriálů pro zátěžové aplikace. Protože se jedná o vysoce pevné materiály s vysokým modulem pružnosti, implantát přebírá většinu mechanického zatížení. Kostní tkáň v okolí implantátu tak není dostatečně zatěžována a postupně odumírá.

Možným řešením je využití technologií 3D tisku k přípravě porézních struktur, tzv. scaffoldů, které napodobují přirozenou architekturu kosti a vyznačují se jako celek nižší hodnotou modulu pružnosti. Optimalizací 3D struktury je možné minimalizovat nevyvážené zatěžování kosti a implantátu a zvýšit vaskularizace kostní tkáně v okolí implantátu. Ke zlepšení sekundární fixace implantátu v kosti je dále možné využít zinek infiltrovaný do porézních scaffoldů. Zinek je běžný stopový prvek v lidském těle, podporuje diferenciaci osteoblastů a mineralizaci extracelulární matrix, což má pozitivní vliv na tvorbu kostní tkáně. Jeho přítomnost v kompozitních materiálech s Ti však může zásadně ovlivnit kvalitu vzniklé kostní tkáně i spojení implantátu s kostí. Úskalím přípravy kompozitních materiálů Ti/Zn je však vznik intermetalik. Sloučeniny Ti-Zn mohou svou pozvolnou degradací uvolňovat do organismu nežádoucí Ti. Jejich výskyt v kompozitních materiálech je tak důležité eliminovat.

## Kovové materiály II.

**MÍSTO:** POSLUCHÁRNA ÚSTAVU 106 (A50)

### KOMISE

doc. Ing. Jaroslav Fojt, Ph.D. (předseda)

doc. Ing. Jiří Kubásek, Ph.D.

Ing. Eva Kristianová, Ph.D.

### PROGRAM

10:20 **Zahájení**

10:20 **Bc. Veronika Balejová** (M1, doc. Ing. Alena Michalcová, Ph.D.)

*Příprava a charakterizace kompozitních materiálů TiAlV/Zn*

10:30 **Bc. Antonín Ďurana** (M2, Ing. Václav Šefl, Ph.D.)

*Optimalizace stavu povrchu materiálu AISI 2205 pro zlepšení odolnosti v prostředí chloridů založené na statistickém zpracování*

10:40 **Magdaléna Horová** (B3, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Silicido-aluminidové vrstvy s gradientní strukturou pro obráběcí nástroje*

10:50 **Jan Lipold** (B3, doc. Ing. Alena Michalcová, Ph.D.)

*Mechanicky legované intermetalické materiály TiAl*

11:00 **Petr Suchánek** (B3, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Struktura a tepelná stabilita kompozitů NiAl-FeSi*

11:10 **Petra Šteberlová** (B3, doc. Ing. Milan Kouřil, Ph.D.)

*Korozní odolnost návarů turbínových lopatek*

11:20 **Bc. Tomáš Vrba** (M2, doc. Ing. Filip Průša, Ph.D.)

*Příprava karbidů molybdenu a jejich použití pro vyztužení kompozitní slitiny CoCrFeNiMn*

## Příprava a charakterizace kompozitních materiálů TiAlV/Zn

**Veronika Balejová (M1)**

Školitel: doc. Ing. Alena Michalcová, Ph.D.

Titan a jeho slitiny jsou hojně používány k výrobě implantátů. Vynikají nízkou hustotou, dobrou korozní odolností a biokompatibilitou. Jejich nevýhodou je však příliš vysoká pevnost, která může způsobovat tzv. stress-shielding. Pevnost se může snížit kupříkladu použitím speciálního porézního designu. Ten nabízí další oblast výzkumu – do pórů může být infiltrován biogenní prvek, jako je zinek, čímž by se mohla biokompatibilita a schopnost oseointegrace ještě zlepšit. Vzorke výztuží ze slitiny Ti-6Al-4V připravených metodou SLM (selective laser melting, přetavování laserovým paprskem) byly infiltrovány taveninou zinku nebo slitiny Zn-4Al-3Cu třemi různými postupy – podtlakovým nasátím za pomoci vakuové pumpy, odstředivým litím a vakuovým litím. Vhodnost jednotlivých metod byla posouzena jak z pohledu úspěšnosti infiltrace vzorků, tak i z pohledu jejich mikrostruktury. Z obou hledisek se jako nejvhodnější jeví metoda odstředivého lití ve vertikálním uspořádání.

## *Optimalizace stavu povrchu materiálu AISI 2205 pro zlepšení odolnosti v prostředí chloridů založené na statistickém zpracování*

**Bc. Antonín Ďurana (M2)**

Školitel: Ing. Václav Šefl, Ph.D.

Navzdory své obecně vysoké odolnosti mohou korozivzdorné oceli selhávat řadou korozních mechanismů. Odolnost pasivovatelných materiálů je do velké míry dána kvalitou pasivní vrstvy. V ideálním stavu je pasivní vrstva korozivzdorné oceli tvořena rovnoměrnou vrstvou primárně složenou z oxidů/hydroxidů Fe a Cr. Během výrobních procesů, především válcování, tvarování, svařování a další, vznikají povrchové defekty, popřípadě celé vrstvy, které neposkytují rovnoměrnou ochranu materiálu a mohou sloužit jako iniciační místo poškození.

Jedním ze způsobů, jak zvýšit odolnost je použití procesu moření. Po moření na povrchu vzniká vrstva s optimální korozní odolností. Tato práce se zabývá optimalizací tohoto procesu pro duplexní korozivzdornou ocel AISI 2205. Pro optimalizaci byla zvolena statistická metoda Response Surface Methodology, díky které je možné zjistit vliv více proměnných vstupujících do procesu a identifikovat jejich optimální kombinaci. Pomocí RSM a potenciodynamických testů byl studován vliv koncentrace  $\text{HNO}_3$  a HF a doby moření na výslednou hodnotu potenciálu bodové koroze. Další analýza spočívala ve zjišťování změny hustoty defektů v povrchové vrstvě metodou Mott-Schottky.

## *Silicido-aluminidové vrstvy s gradientní strukturou pro obráběcí nástroje*

**Magdaléna Horová (B3)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Slinuté karbidy, běžně používané pro výrobu obráběcích nástrojů, obsahují Co a W, které se v Evropské unii řadí mezi kritické suroviny. Cílem této práce je vyvinutí náhrady těchto materiálů v podobě materiálu se silicido-aluminidovou vrstvou s gradientní strukturou. Vnější, tvrdá vrstva vyvíjeného materiálu je tvořena silicidem železa, houževnatější jádro je tvořeno aluminidem niklu a mezivrstvou tvoří kompozit FeSi-NiAl.

V rámci práce byla provedena analýza povrchu optickým a skenovacím elektronovým mikroskopem a analýza složení energiově disperzní spektrometrií. Z mechanických vlastností byla změřena pevnost v tlaku, pevnost v ohybu a profil mikrotvrdomosti. Dále byly zkoumány tribologické vlastnosti, a to otěruvzdornost a drsnost povrchu.

## *Mechanicky legované intermetalické materiály TiAl*

**Jan Lipold (B3)**

Školitel: doc. Ing. Alena Michalcová, Ph.D.

Intermetalická fáze TiAl na rozdíl od čistého titanu odolává oxidaci i za teplot přesahujících 600°C. Těto a dalších vlastností se tak využívá v leteckém a kosmickém průmyslu, a také v jiných odvětvích výroby.

Slitiny Ti a Al připravené mechanickým legováním disponují jemnozrnnou strukturou a vysokou mírou homogenizace. Cílem je vhodně nastavit výrobní proces a dosáhnout tak zvýšeného podílu fáze TiAl ve výsledné slitině. Následným využitím technologie SPS (spark plasma sintering) lze získat kompaktní materiál, či docílit povrchové úpravy kompaktních materiálů.

Snahou bylo zdokonalit výrobní postup intermetalik TiAl s ohledem na mechanické a korozní vlastnosti materiálu. Zkoumána byla například míra kontaminace během mletí, vliv přídavku n-heptanu během mletí na fázové složení materiálu práškové slitiny pomocí RTD (difrakce rentgenového záření) a na výslednou mikrostrukturu pomocí SEM (rastrovací elektronové mikroskopie).

## *Struktura a tepelná stabilita kompozitů NiAl-FeSi*

**Petr Suchánek (B3)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Kompozitní materiály NiAl-FeSi jsou díky vysoké tvrdosti a otěruvzdornosti uvažovány jako budoucí nástrojové materiály. Pokud plánujeme využití na obráběcí nástroje, je nutné počítat s krátkodobým ohřevem na relativně vysoké teploty. Tato práce se zaměřuje na tepelnou stabilitu kompozitů NiAl-FeSi a jejich strukturu. Tepelná stabilita je v práci studována prostřednictvím změn tvrdosti po krátkodobém žíhání při různých teplotách v rozsahu 500 – 900 °C.

## *Korozní odolnost návarů turbínových lopatek*

**Petra Šteberlová (B3)**

Školitel: doc. Ing. Milan Kouřil, Ph.D.

Eroze turbínových lopatek způsobená vodními kapkami představuje v praxi závažný problém z hlediska životnosti a efektivity parních turbín. K nejvýraznějšímu opotřebení materiálu vlivem eroze dochází v oblasti náběžných hran lopatek. Z tohoto důvodu se na náběžné hrany používají ochranné vrstvy ve formě laserových návarů. Tato práce je součástí projektu, jehož cílem je navrhnout vhodnou metodu testování korozně erozní odolnosti návarů lopatek. V rámci práce byly provedeny korozní zkoušky bez erozních vlivů čtyř dodaných návarových systémů, dvou na bázi stellite a dvou na bázi nástrojové oceli, v prostředí sladké chladicí vody. Byla zhodnocena stabilita pasivní vrstvy porovnáním průrazového a repasivačního potenciálu pomocí cyklické polarizace v modelovém elektrolytu s různým obsahem chloridů, teplotou a oxidační schopností. Na základě této analýzy byla dále stanovena korozní proudová hustota při samovolném korozním potenciálu. V budoucnu budou provedeny korozní zkoušky s erozním vlivem, kdy se bude vyhodnocovat cyklická polarizace a elektrochemický šum. Na základě měření bude porovnán vliv korozní a erozní složky namáhání.

## Příprava karbidů molybdenu a jejich použití pro vyztužení kompozitní slitiny CoCrFeNiMn

**Bc. Tomáš Vrba (M2)**

Školitel: doc. Ing. Filip Průša, Ph.D.

Kompozity tvořené kovovou maticí vyztužené jemnozrnnými karbidy přechodných kovů vykazují výrazné zlepšení mechanických vlastností. Především se jedná o zlepšení mezí kluzu a pevnosti. Novým přístupem k syntéze jemnozrnných karbidů je mechanické legování čistého kovu s uhlíkovým prekurzorem. Vhodnou formou vstupního uhlíku se jeví vysoce čistý grafen z důvodu velkého reakčního povrchu, jehož nevýhodou je však vysoká pořizovací cena. Levnější alternativou by mohlo být využití vedlejších nanostrukturovaných produktů pyrolýzy jednoduchých uhlovodíků, která se využívá k přípravě tyrkysového vodíku.

Tato práce se zabývá syntézou karbidu molybdenu z odpadních uhlíkových produktů pyrolýzy polypropylenu. Nejprve byla provedena optimalizace délky procesu mechanického legování. Na připravených prášcích bylo studováno jejich fázové složení a mikrostruktura pomocí XRF, XRD a SEM. Po stanovení optimální délky procesu byla připravena trojice kompozitních vzorků slitiny CoCrFeNiMn vyztužená 5, 10 a 15 hm. % Mo<sub>2</sub>C. Všechny vzorky byly kompaktizovány metodou SPS a následně u nich byla studována mikrostruktura, tvrdost a byly provedeny zkoušky v tlaku.

## Kovové materiály III.

**MÍSTO:** POSLUCHÁRNA ÚSTAVU 106 (A50)

### KOMISE

doc. Ing. Milan Kouřil, Ph.D. (předseda)

doc. Ing. Filip Průša, Ph.D.

Ing. Petr Dvořák, Ph.D.

### PROGRAM

11:40 **Zahájení**

11:40 **Bc. Andrea Boháčová** (M1, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Slitiny s vysokou entropií odvozené od korozivzdorných ocelí*

11:50 **Bc. Jiří Duda** (M2, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Optimalizace homogenizačního mletí při přípravě intermetalických kompozitů*

12:00 **Bc. Vít Jůza** (M2, Ing. Eva Kristianová, Ph.D.)

*Extrakce alkalických kovů z cinvalditu s využitím mechanické aktivace minerálu*

12:10 **Jakub Karas** (B3, doc. Ing. Jan Stoulil, Ph.D.)

*Simulace precipitace pórovitých agregátů korozních produktů na bázi sideritu*

12:20 **Bc. Aneta Nováková** (M1, doc. Ing. Jaroslav Fojt, Ph.D.)

*Detekce změny pH fyziologického prostředí pomocí ZnO*

12:30 **Bc. Barbora Ševčíková** (M1, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Vliv tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti nástrojových ocelí připravené přímým energetickým nanášením*

12:40 **Bc. Jakub Veselý** (M1, prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.)

*Depozice vrstvy NiTi pomocí metody SPS*

## *Slitiny s vysokou entropií odvozené od korozivzdorných ocelí*

**Bc. Andrea Boháčová (M1)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Slitiny s vysokou entropií (HEA – High Entropy Alloys) jsou poměrně nově zkoumané materiály. Jedná se o materiály s vysokou mírou směšovací entropie. To v původní definici těchto slitin znamená, že ve slitině vznikne neuspořádaný tuhý roztok tvořený všemi prvky, které jsou v ní obsaženy. Jako první byla zkoumána slitina prvků železa, chromu, kobaltu, manganu a niklu v ekvatomárním poměru, kde byl upřednostněn vznik tuhých roztoků místo intermetalických fází. Tyto slitiny se vyznačují vynikajícími vlastnostmi jako například vysoká houževnatost a tažnost a také i velmi dobrými korozními vlastnostmi. Tato práce je zaměřena na přípravu slitiny z prvků železa, chromu, niklu a manganu bez obsahu kobaltu tak, aby byla docílena struktura FCC. Ta by mohla být alternativou k niklovým superslitinám a korozivzdorným ocelím. Díky absenci kobaltu a její větší podobnosti s výše uvedenými běžnými materiály by dále bylo možné dosáhnout lepší a snadnější recyklace a bylo by možné i využití v jaderné energetice. Cílem této práce byla příprava této slitiny s vysokou entropií pomocí mechanického legování s následnou kompaktizací metodou SPS. Byly zkoumány postupné změny struktury prášku při mechanickém legování metodou rentgenové difrakce, vyhodnocení mikrostruktur pomocí SEM, zkoušek tvrdosti a další mechanické vlastnosti.

## *Optimalizace homogenizačního mletí při přípravě intermetalických kompozitů*

**Bc. Jiří Duda (M2)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

V současnosti nejpoužívanějším materiálem pro výrobu obráběcích nástrojů jsou slinuté karbidy, které obsahují wolfram v tvrdé karbidové fázi a kobalt jako pojivo. Tyto dva kovy mají svá ložiska v Asii a Africe a jsou pro Evropu obtížně dostupné. Jsou proto vyvíjeny dostupnější alternativy. Jedná se především o kompozitní materiály vyráběné postupy práškové metalurgie. Příkladem je kompozit s tvrdou fází silicidem železa (FeSi) a pojivem aluminidem niklu (NiAl). Homogenizace je jedním z kroků práškové metalurgie, na kterém závisí mechanické vlastnosti výsledného materiálu. Homogenizační mletí probíhá, podobně jako příprava prášků silicidu a aluminidu, v planetových kulových mlýnech. V průběhu práce byly odebírány vzorky prášků po určitých dobách homogenizace a při různých rychlostech otáčení mlecí nádoby. Posuzován byl vliv doby a podmínek homogenizačního mletí. U jednotlivých vzorků bylo zkoumáno fázové složení pomocí rentgenové difrakce, proveden metalografický výbrus prášku a hodnocena mikrostruktura pomocí světelné i elektronové mikroskopie (SEM).

## *Extrakce alkalických kovů z cinvalditu s využitím mechanické aktivace minerálu*

**Bc. Vít Jůza (M2)**

Školitel: Ing. Eva Kristianová, Ph.D.

Lithium je jedním z klíčových prvků současné technologické éry, nezbytné pro výrobu lehkých vysokokapacitních baterií. S narůstající poptávkou po udržitelných energetických řešeních a přechodu k bezemisní mobilitě roste význam lithia jako strategické suroviny.

Získávání lithia z domácích zdrojů nabývá na významu i v kontextu současné geopolitické situace. Pro Českou republiku a potažmo Evropskou unii by vlastní zdroj lithiové rudy včetně její rafinace znamenal podstatné snížení závislosti na Číně, která aktuálně produkci rafinovaného lithia dominuje.

V Krušných horách je rozsáhlé ložisko Li minerálu cinvalditu. Ten je však v porovnání s jinými Li rudami poměrně chudý a obtížně zpracovatelný, a proto se běžně nezpracovává. Tato práce tak navazuje na předchozí výzkum vysokoteplotních metod zpracování cinvalditu.

Místo tepelné úpravy je zde však zkoumána mechanická aktivace vysokorychlostním mletím následovaná kyselým loužením. Práce pak popisuje vliv podmínek mechanické aktivace na účinnost extrakce Li a na rozsah strukturních změn minerálu, kterých lze mechanickou aktivací dosáhnout právě v porovnání se změnami způsobenými pražením. Potenciálně by se tak při zachování účinnosti extrakce Li dalo pražení v určité míře nahradit vysokorychlostním mletím.

## *Simulace precipitace pórovitých agregátů korozních produktů na bázi sideritu*

**Jakub Karas (B3)**

Školitel: doc. Ing. Jan Stoulil, Ph.D.

V České republice budou kovové kontejnery na vyhořelé jaderné palivo ukládány do vápenato-hořečnatého bentonitu (označení BCV), ve kterém jsou koncentrace hydrogenuhličitanových aniontů ( $\text{HCO}_3^-$ ) na úrovni  $c \sim 10^{-3} \text{ mol.dm}^{-3}$ , chloridů a síranů  $c \sim 10^{-4} \text{ mol.dm}^{-3}$ . Korozní produkty jsou na bázi uhličitanů, a to převážně siderit ( $\text{FeCO}_3$ ) a minoritně chukanovit ( $\text{Fe}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ). Tato práce se věnuje přípravě pórovitých agregátů kalcitu a sideritu pro následné studium mechanických vlastností korozních produktů v bentonitu. Kalcit je používán jako srovnávací materiál, kvůli vyšší rozpustnosti. Byla provedena síťová analýza, z které jsme určili distribuci velikosti zrn kalcitu a sideritu. Pomocí měření vodivosti roztoku byla sledována kinetika rozpouštění a precipitace kalcitu a sideritu v demineralizované vodě syčené  $\text{CO}_2$  a následně  $\text{N}_2$ .

## Detekce změny pH fyziologického prostředí pomocí ZnO

**Bc. Aneta Nováková (M1)**

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Fojt, Ph.D.

Vznik zánětu představuje nežádoucí komplikaci implantace a může vést v případě pozdního zásahu k nutnosti reoperace. Vlivem zánětlivého procesu dochází k lokálnímu poklesu pH, jehož včasná detekce by umožnila nastavit vhodnou léčbu. K detekci změn pH lze použít například polovodivé oxidické vrstvy různých kovů. Cílem této práce bylo připravit depozicí z roztoku  $ZnCl_2$  vrstvy ZnO na slitině Ti-6Al-4V, otestovat stabilitu vzniklých vrstev expozicí v pufrovaném fyziologickém roztoku o pH 7,4 a změřit jejich odezvu na změny pH. Nejvhodnější podmínky pro depozici byly zvoleny na základě studia vlivu výchozích podmínek na morfologii vrstev. Odezva na změny pH byla ověřována snímáním samovolného korozního potenciálu v pufrovaném fyziologickém roztoku o různém pH. Stav povrchu byl charakterizován pomocí SEM a EDS analýzy. Ke zjištění složení vrstev byla využita XRD analýza. Z výsledků bylo zjištěno, že vrstvy ZnO nevykazují v testovaném prostředí dostatečnou stabilitu a tedy ani spolehlivou odezvu na změny pH, aby mohly být v této podobě použity jako senzory pH v bioaplikacích.

## ***Vliv tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti nástrojových ocelí připravené přímým energetickým nanášením***

**Bc. Barbora Ševčíková (M1)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Pro výrobu motorů a převodových skříní v automobilovém průmyslu se využívají specializované formy pro vysokotlaké lití. Tyto formy jsou konstrukčně velmi složité a drahé, proto v případě jejich poruchy dochází k jejich opravě, nikoliv nahrazení. Jednou z moderních a efektivních technik pro opravy forem je 3D tisk metodou přímé depozice laserem (DED). Metoda DED umožňuje rychlou a ekonomicky výhodnou opravu poškozeného materiálu. Proces spočívá v obrobení původního materiálu, čímž se připraví plocha pro následný 3D tisk. Materiál je nanášen postupně ve formě tenkých vrstev, které se navzájem spojují vlivem dopadajícího laserového záření. 3D tisk metodou přímé depozice laserem (DED) umožňuje vytvářet detailní struktury, včetně dutin uvnitř materiálu, které slouží jako chladicí systém v průběhu vysokotlakého lití, což má výrazný vliv na výslednou přesnost odlitků. Ve Škoda Auto se pro opravy forem používá prášek nástrojové oceli Ferro 44 a Ferro 55. Tato ocel se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení a tepelnému namáhání, což je pro materiál forem klíčové. Práce se věnuje optimalizaci tepelného zpracování tištěné nástrojové oceli Ferro 44 z pohledu mikrostruktury a tvrdosti.

## *Depozice vrstvy NiTi pomocí metody SPS*

**Bc. Jakub Veselý (M1)**

Školitel: prof. Ing. Pavel Novák, Ph.D.

Slitině NiTi se již věnovala řada výzkumů a v současné době nachází významné uplatnění v oblasti biomateriálů, a to především díky tvarové paměti a relativně dobré biokompatibilitě. Díky svým vlastnostem je slitina populární volbou pro výrobu stentů. Dalším potenciálním využitím slitiny by mohlo být její použití jako povrchové vrstvy chirurgického instrumentária.

V minulosti byl popsán vliv obsahu TiC na mechanické vlastnosti kompozitního materiálu s Ni maticí. TiC není navíc pro lidské tělo toxický, takže může být použit pro přípravu vytvrzené NiTi vrstvy. Cílem této práce tedy je příprava a popsání vlastností povrchové vrstvy ze slitiny NiTi a ze slitiny NiTi vytvrzené přídavkem TiC na vhodné matici.

# Kovové materiály - restaurování

**MÍSTO:** HLAVNÍ CHODBA ÚSTAVU 106

## KOMISE

prof. Ing. Pavel Novák, CSc. (předseda)

Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.

Světlana Spiwoková, Ph.Dr.

Jan Mohr, Ph.Dr.

Ing. Matěj Reiser

## PROGRAM

10:00 **Zahájení**

10:00 **Šimon Jáchym Kotalík** (B3, Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.)  
*Restaurování věžičky*

10:10 **Roman Kotrč** (B3, Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.)  
*Přilba rakouských dragounů*

10:20 **Ondřej Lavička** (B3, Ing. Tereza Boháčková, Ph.D.)  
*Restaurování věčného světla*

10:30 **Jonatan Mates** (B3, Ing. Tereza Boháčková, Ph.D.)  
*Restaurování chanukového svícnu*

10:40 **Anna Řezníčková, DiS.** (B2, Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.)  
*Historicko-materiálový průzkum monstrance ze 17. století*

10:50 **Tereza Vráblíková** (B3, Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.)  
*Restaurování empírového svícnu*

## Restaurování věžičky

**Šimon Jáchym Kotalík (B3)**

Školitel: Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Václav Nikendey

Tématem práce je restaurování a následná konzervace zdobného převážně železného ornamentu na věžičce/hromosvodu. O původu předmětu toho víme jen málo, snad jen, že florální motivy připomínají ty, které jsou typické pro secesi; můžeme tedy hrubě odhadnout stáří předmětu od druhé poloviny 19. století.

Předmět byl značně mechanicky poškozen – voluty byly vychýlené a některé florální ornamenty chyběly zcela úplně. Na předmětu se objevilo i značné korozní poškození, které se opět dotklo nejvíce zdobných prvků. Zajímavostí objektu je pestrost použitých materiálů a nátěrů; bylo identifikováno šest různých materiálů a stejný počet nátěrových vrstev pomocí SEM/EDS.

Cílem zásahu je provést kompletní analýzu na předmětu pro zjištění co nejvíce informací o něm. Zároveň byla provedena demontáž částí, které byly s předmětem spojeny rozebíratelnými spoji. Předmět byl zbaven nátěrových vrstev z důvodu jejich nedostatečné soudržnosti s povrchem předmětu. Nátěrové vrstvy byly odstraněny jejich opálením a následným mechanickým čištěním. Zcela prokorodované florální ornamenty budou nahrazeny jejich rekonstrukčními kopiemi. Vychýlené voluty budou srovnány zpět do jejich původních pozic a následně bude předmět ošetřen ochrannou antikorozií vrstvou na bázi nejstaršího nalezeného nátěru.



## Přilba rakouských dragounů

**Roman Kotrč (B3)**

Školitel: Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.

Předmět je přilba vyráběná pro rakouské jezdecktvo dragounů po roce 1850. Je vyrobena z mosazných a ocelových součástí doplněných o usňové a textilní komponenty, přičemž kovové součásti byly povrchově upraveny zlacením, cínováním a černým lakem. Důvodem restaurování bylo mechanické a korozní poškození.

Mechanické poškození se z většiny sestávalo z plastických deformací. Korozní poškození se projevilo na všech vnějších površích, které nebyly opatřeny černým lakem. Zde se jednalo o rovnoměrnou vrstvu korozních produktů, avšak ve vnitřních částech přilby byly kovové části lokálně napadeny působením chloridů.

Restaurátorský zásah se zaměřil na mechanické odstranění korozních produktů s vysokým obsahem chloridů a následné rovnání kovových součástí. Mosazné součásti, na kterých se nacházely usazeniny, byly čištěny parní čističkou a usňové a textilní součásti byly mechanicky čištěny při použití isopropanolu. Ocelové součásti, které nebylo možné plně očistit od korozních produktů, byly konzervovány pomocí lihového tanátovacího roztoku. Následovala kompletace předmětu původními mechanickými spoji a konzervování předmětu akrylátovou pryskyřicí Paraloid B72. Poté byla provedena barevná retuš poškozeného laku a byly navrženy podmínky uložení předmětu.



## Restaurování věčného světla

**Ondřej Lavička (B3)**

Školitel: Ing. Tereza Boháčková, Ph.D.

Práce se zabývá restaurováním věčného světla, pocházejícího pravděpodobně z období rokoka, jehož vlastníkem je České muzeum stříbra v Kutné Hoře, kde je uloženo pod inventárním číslem 1151/80. Předmět byl vyroben z mosazného plechu a následně žárově postříbřen. Vnitřní část těla a šroubky s matkami stříbřeny nebyly. Podle typologického srovnání se zhruba třetina těla a většina závěsného systému nedochovala. Zbytek je mechanicky poškozen a stříbření bylo na řadě míst podkorodované. Vlastník si přál předmět pouze vyčistit a zakonzervovat. Při demontáži bylo nutné odstranit jeden šroubek a závlačky. Zbytky mastnoty byly odstraněny organickými rozpouštědly, korozní produkty pomocí 3%  $H_2SO_4$  s přídavkem  $H_2O_2$ . Části zničené při demontáži byly znovu vyrobeny spolu s jednou výztuhou části závěsu. Ke konzervaci byl použit 10% roztok Paraloidu B48N v xylenu.



## Restaurování chanukového svícnu

**Jonatan Mates (B3)**

Školitel: Ing. Tereza Boháčková, Ph.D.

Náplní práce bylo restaurování chanukije – židovského liturgického svícnu a symbolu božího zázraku, jehož vlastníkem je Židovské muzeum v Praze. Svícen byl vyroben na území Haliče na přelomu 18. a 19. století. Během této epochy zde existovala silná židovská komunita, která vyvinula vlastní umělecký styl odlévaných chanukijí z mědi či jejích slitin. Haličský styl se projevoval napodobováním fasád různých budov, například synagog.

Při převzetí byl svícen pokryt nečistotami, lokálně barevnými korozními produkty a na nepohledové části došlo k odzinkování mosazi. Pro identifikaci výrobního materiálu byly odebrány čtyři vzorky z různých částí svícnu, z nichž připraveny metalografické výbrusy. Následně byla struktura pozorována metalografickým inverzním mikroskopem a analyzována metodou SEM/EDS, z jejichž výsledků vyplývá, že se jedná o mosaz s obsahem zinku 25.5-28.8 %. Na objektu byla připevněna trojice barevných sklíček, z nichž jedno bylo prasklé a slepené epoxidem na bázi bisfenolu A (dle FT-IR analýzy). Předmět rovněž nesl stopy mechanického poškození (rýhy a škrábance) a druhotných zásahů (pájené spoje). Cílem restaurátorského zásahu bylo mechanicky očistit předmět od nečistot a nefunkčních pájených spojů, pomocí 3% kyseliny sírové odstranit korozní produkty, přetmelit spoje u sklíček a vytvořit nové pájené spoje. Svícen byl následně zakonzervován roztokem Paraloidu B72 rozpuštěným v xylenu.



## Historicko-materiálový průzkum monstrance ze 17. století

**Anna Řezníčková, DiS. (B2)**

Školitel: Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.

Monstrance pochází nejpravděpodobněji z období druhé poloviny 17. století. Jejím autorem je pražský zlatník Jiří Bergoldt (1622-1684), který působil na Starém Městě. Výrobní punc autora se nachází pouze na patce tepané čtyřlaločkové nohy, která je zdobená bohatým rostlinným dekorem. Mezi korunou monstrance a její spodní částí jsou určité typologické rozdíly zpracování tepaných reliéfů, které vedou k úvaze, že monstrance, jak ji vidíme dnes, mohla být v minulosti složena ze dvou různých. Předmět svým tvaroslovím spadá mezi tzv. sluncové monstrance, které se začaly vyrábět v období baroka. Je pro ně typická silueta koruny tvořená z paprsků.

Analýzou odebraných vzorků základního materiálu bylo pomocí SEM zjištěno, že je vyrobena ze slitiny stříbra s mědí, jejíž obsah se pohybuje okolo 20 hm. %, ale její podíl v jednotlivých částech se liší nejpravděpodobněji kvůli způsobu výroby. Povrchová úprava monstrance je zlacení, které bylo provedeno žárově a bylo nanášeno formou rtuťového amalgámu. Na monstranci se nachází několik míst, kde došlo k druhotným opravám, které se vyskytují především v oblasti koruny monstrance, a to u akantového věnce a paprsků.



## Restaurování empírového svícnu

**Tereza Vráblíková (B3)**

Školitel: Ing. Šárka Msallamová, Ph.D.

Práce se zabývá restaurováním empírového svícnu z první poloviny 19. století. Cílem bylo uvést svícen do stavu, který by co nejvíce připomínal stav původní. Svícen byl nejprve rozebrán a podroben analýzám. Pro materiálový průzkum byla zvolena analýza XRF a SEM/EDS. Analýzami bylo zjištěno, že svícen je z mosazi, která byla žárově pozlacena. Z morfologie povrchu bylo usouzeno, že byl svícen vyroben za použití strojních technologií. Hlavní části svícnu jsou převážně odlévané. Části pokryté vrstvou vosku byly vloženy do vroucí vody, kde došlo k jeho rozpuštění a odmaštěny benzínem. Poté byly všechny části očištěny parou. Korozní produkty mědi byly odstraněny 5% roztokem kyseliny sírové s přídavkem peroxidu vodíku. Následně byly části vyleštěny plavenou křídou a jejich povrch zakonzervován akrylátovým lakem Paraloidem B48N, který byl rozpuštěn v xylenu. K odstranění korozních produktů železa na šroubech spojujících části, byl použit 10% roztok Chelatonu III, který byl nanesen technikou tamponáže. Šrouby byly poté zakonzervovány mikrokrystalickým voskem, který byl rozpuštěn v terpentýnu. Ulomené rameno bylo vyztuženo mosaznou vložkou a následně spájeno stříbrnou pájkou. Celá část s rameny byla galvanicky pozlacena. Pro předmět byl navrhnout ochranný režim,  $RV = 45-55 \%$  a  $t = 18-25^{\circ}C$ . V případě uložení by měl být použit vhodný mobiliář, při jehož výrobě je třeba vyloučit materiály a nátěry uvolňující těkavé organické látky.

