

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství**

**Studijní specializace: Strojírenské materiály a technologie**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Galvanické pokovení šperků**

**Autor: Pavlína BEBEROVÁ**

**Vedoucí práce: Ing. Ondřej CHOCHOLATÝ, Ph.D.**

**Akademický rok 2021/2022**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavína BEBEROVÁ**  
Osobní číslo: **S21B0009P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Strojírenské materiály a technologie**  
Téma práce: **Galvanické pokovení šperků**  
Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

## Zásady pro vypracování

1. Galvanické pokovení
2. Využití ve šperkařství
3. Používané elektrolyty
4. Volba vhodného elektrolytu a elektrod
5. Experiment
6. Vyhodnocení
7. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**  
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Modern Electroplating, 3rd Edition, Frederick A. Lowenheim, ISBN-13: 978-0471549680.

Povrchy a jejich úpravy / Václav Kraus. – 1. vyd.. – Plzeň : Západočeská univerzita, 2000. – 216 s. : il. ; 20 cm. – Dotisk 2009. – ISBN 80-7082-668-1. – ISBN 978-80-7082-668-3.

JONES, D.A. Principles and prevention of corrosion, Prentice Hall, New York 1996.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Chochofatý, Ph.D.**  
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Kateřina Nová, Ph.D.**  
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Josef Odehnal, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Beberová	<b>Jméno</b> Pavčina	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715A270013 Strojní inženýrství		
<b>VEDOUČÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Chocholatý Ph.D.	<b>Jméno</b> Ondřej	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST – KMM		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Galvanické pokovení šperků		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	55	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	40	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje princip galvanického pokovení, popis metod galvanického pokovení používaných ve šperkařství. Praktická část se věnuje pokovení několika materiálů zlatem a niklem, zdokumentování a vyhodnocení kvality a vzhledu nanesených vrstev.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	galvanické pokovení, elektrolýza, šperkařství, zlacení, stříbření, rhodiování, niklování, SEM a EDX analýza

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Beberová	Name Pavčina	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Chocholatý, Ph.D.	Name Ondřej	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Galvanic plating of jewelry		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KMM	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	55	<b>TEXT PART</b>	40	<b>GRAPHICAL PART</b>	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor thesis contains the principle of galvanic plating, a description of galvanic plating methods used in jewelry. The practical part is devoted to plating several materials with gold and nickel, documenting and evaluating the quality and appearance of the applied layers.
<b>KEY WORDS</b>	galvanic plating, electrolysis, jewelry, gilding, silvering, rhodium plating, nickel plating, SEM and EDX analysis

## Obsah

Seznam obrázků .....	7
Seznam tabulek .....	8
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Úvod .....	12
1 Pokovení.....	13
1.1 Pokovení bez doteku .....	13
1.2 Pokovení s dotekem .....	13
1.3 Galvanické pokovení .....	13
1.3.1 Zařzení: .....	14
1.3.2 Rozsah použití.....	14
1.3.3 Galvanické pokovení v současnosti.....	15
1.4 Elektrolýza.....	17
1.5 Faradayovy zákony elektrolýzy .....	18
2 Zlacení.....	19
2.1 Zlato.....	19
2.2 Pozlacování.....	20
2.3 Žárové/Amalgámové zlacení.....	20
2.4 Galvanické zlacení.....	21
2.5 Zlacení napařováním .....	21
3 Stříbření.....	22
3.1 Stříbro .....	22
3.2 Stříbření .....	22
3.2 Bezproudové stříbření.....	23
4 Niklování.....	24
4.1 Nikl .....	24
4.2 Niklování .....	25

5 Rhodiování .....	25
5.1 Rhodium .....	25
5.1 Postup při rhodiování.....	28
5.2 Chyby při rhodiování šperků .....	29
6 Oxidace.....	30
7 Praktická část bakalářské práce .....	31
7.1 Charakteristika použitých materiálů .....	31
7.2 Příprava vzorků pro rozbor mikrostruktury materiálu.....	31
7.3 Mikrostruktura materiálů vzorků.....	33
7.3.1 Měď.....	33
7.3.2 Mosaz.....	34
7.3.3 Ocel AISI 304 .....	35
7.3.4 Ocel AISI 316L.....	36
7.4 Příprava vzorků pro pokovení .....	37
7.5 Příprava galvanické lázně .....	37
7.5.1 Zlacení.....	37
7.5.2 Niklování.....	38
7.6 Snímky vytvořené vrstvy.....	40
7.6.1 Pozlacená měď .....	40
7.6.2 Pozlacená mosaz .....	41
7.6.3 Pozlacená ocel ASIS 304 .....	42
7.6.4 Pozlacená ocel ASIS 316L.....	43
6.6 Poniklovaná měď .....	44
Poniklovaná mosaz .....	45
Poniklovaná ocel AISI 304 .....	46
Poniklovaná ocel AISI 316L.....	47
7.6.6 Snímky průřezu vrstvou.....	48



7.7 Hodnocení nanesených vrstev po světelné mikroskopii.....	50
7.8 SEM a EDX analýza.....	51
Pozlacená měď.....	51
Poniklovaná měď.....	52
Poniklovaná mosaz.....	54
Řez pozlacenou ocelí AISI 316L.....	55
7.9 Diskuse výsledků.....	56
8 Závěr.....	58
Použité zdroje.....	59
Obrázky.....	60

## Seznam obrázků

- Obr. 1: Zlacení vnitřku kalichu [Obr.1]
- Obr.2: Pokovovací stůl [Obr.2]
- Obr.3 Elektrolýza [Obr.3]
- Obr.4: Pozlacování plátováním [Obr.4]
- Obr.5: Galvanické stříbření [Obr.5]
- Obr.6: Šperky před a po rhodiování [Obr.6]
- Obr.7: Proces rhodiování [Obr.7]
- Obr.8: Vzorčky ve vyleštěném stavu
- Obr.9: Mikrostruktura mědi, zvětšení 200x
- Obr.10: Mikrostruktura mědi, zvětšení 500x
- Obr.11: Mikrostruktura mosazi, zvětšení 200x
- Obr.12: Mikrostruktura mosazi, zvětšení 500x
- Obr.13: Mikrostruktura oceli AISI 304, zvětšení 500x
- Obr.14: Mikrostruktura oceli AISI 304, zvětšení 500x
- Obr.15: Mikrostruktura oceli AISI 316L, zvětšení 500x
- Obr.16: Mikrostruktura oceli AISI 316L, zvětšení 500x
- Obr.17: Proces niklování
- Obr.18: Pozlacená měď, zvětšení 50x
- Obr.19: Pozlacená měď, zvětšení 200x
- Obr.20: Pozlacená mosaz, zvětšení 25x
- Obr.21: Pozlacená mosaz, zvětšení 200x
- Obr.22: Pozlacená ocel AISI 304, zvětšení 25x

Obr.23: Pozlacená ocel AISI 304, zvětšení 200x

Obr.24: Pozlacená ocel AISI 316L, zvětšení 50x

Obr.25: Pozlacená ocel AISI 316L, zvětšení 50x

Obr.28: Poniklovaná měď, zvětšení 200x

Obr.29: Poniklovaná měď, zvětšení 200x

Obr.30: Poniklovaná mosaz, zvětšení 25x

Obr.31: Poniklovaná mosaz, zvětšení 200x

Obr.32: Poniklovaná ocel AISI 304, zvětšení 200x

Obr.33: Poniklovaná ocel AISI 304, zvětšení 1000x

Obr.34: Poniklovaná ocel AISI 316L, zvětšení 200x

Obr.35: Poniklovaná ocel AISI 316L, zvětšení 1000x

Obr.38: Průřez vrstvou pozlacené mědi

Obr.39: Průřez vrstvou poniklované oceli AISI 316L

Obr.40,41: Pozlacené materiály

Obr.42,43: Poniklované materiály

Obr.44: SEM pozlacená měď – oblast analýzy

Obr.45: SEM poniklovaná měď – oblast analýzy

Obr.46: SEM poniklovaná mosaz – oblast analýzy

## **Seznam tabulek**

Tab.1: Tabulka leptadel

Tab.2: Parametry pokovení zlatem

Tab.3: Parametry pokovení niklem

Tab.4: EDX analýza pozlacené mědi

Tab.5: EDX analýza poniklované mědi – oblast 1

Tab.6: EDX analýza poniklované mědi – oblast 2

Tab.7: EDX analýza poniklované mědi – oblast 3

Tab.8: EDX analýza poniklované mědi – oblast 4

Tab.9: EDX analýza poniklované mosazi

## Přehled použitých zkratk a symbolů

°C Stupeň Celsia

% Procento

PVC Polyvinylchlorid

PVDF Polyvinylidenfluorid

pH Potenciál vodíku

m Hmotnost

A Elektrochemický ekvivalent

Q Náboj

I Proud

t Čas

$M_m$  Molární hmotnost

F Faradayova konstanta

$N_A$  Avogadrova konstanta

e Elementární náboj

$\nu$  Počet elementárních nábojů potřebných k vyloučení jedné molekuly

K Draslík

Au Zlato

C Uhlík

N Dusík

Ag Stříbro

g Gram

NMP Methylpyrrolidon

Ti Titan

O Oxid

Rh Rhodium

V Volt

DIN Německý institut pro normy a standardizace

ČSN Česká technická norma

Tab. Tabulka

Obr. Obrázek

Cl Chlor

S Síra

F Fluor

ml Mililitr

Ni Nikl

SEM Skenovací elektronová mikroskopie

EDX Energiově disperzní spektroskopie

## Úvod

Ve šperkařství se již dlouhou dobu využívají různé metody pokovení šperků. Ať už za účelem estetickým nebo za účelem prodloužení životnosti šperku. Nejčastějšími technikami je rhodiování, stříbření, zlacení nebo oxidace.

Nanesením tenké vrstvy kovu je možné dodat lesk a dostat novou barvu šperku. Barevná škála se pohybuje od stříbrné přes zlatou, červenou, až po zelenou, podle použitého kovu, kterým se pokovuje a jeho množství.

Galvanické pokovení se provádí pomocí stejnosměrného proudu, kdy se využívá jevu zvaného elektrolýza. Při průchodu proudu elektricky vodivou kapalinou dochází k chemickým reakcím na elektrodách a vytvoření kovové vrstvy.

Úkolem této bakalářské práce, která je na téma Galvanické pokovení šperků, je seznámit se s metodami pokovení využívanými ve šperkařství. Dále se seznámit s vlastnostmi jednotlivých kovů, uvést jejich výhody a výsledky jejich použití.

Cílem praktické části je provést galvanické pokovení v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské metalurgie na Strojní fakultě Západočeské univerzity v Plzni. Experiment bude obsahovat výběr vhodných materiálů na pokovení a vytvoření příslušných vzorků pro rozbor jejich mikrostruktur. Poté bude potřeba sestavit galvanickou lázeň, vybrat správný elektrolyt, nastavit požadované parametry pokovovací lázně a pokusit se pokovit zlatem a niklem vybrané materiály. Následně se pořídí snímky nanesených vrstev pomocí mikroskopu a zhodnotí jejich kvalita.

Na tuto bakalářskou práci bude navazovat spolupráce s Fakultou designu a umění Ladislava Sutnara na návrhu rhodiovaných šperků. Plánem je vybudovat na fakultě laboratoř, ve které se budou provádět různé pokovovací metody, v budoucnu zejména rhodiování. Cílem je optimalizace elektrolytu pro galvanické pokovení rhodiem a snížení jeho dopadu na životní prostředí.

# 1 Pokovení

Princip pokovování je založen na ponoření předmětu do vhodné lázně (roztoku kovových solí). Lázeň se chemicky rozloží a na povrchu předmětu se usadí žádaná vrstva kovu. K rozkladu lázně může dojít dvěma způsoby. Buďto pomocí elektrického proudu, nebo bez jeho použití. Nyní už méně používané nádoby pro studené pokovovací lázně jsou kameninové, skleněné nebo porcelánové, pro horké lázně to jsou nádoby ocelové, nebo dobře smaltované, nebo nádoby z varného skla. Moderní vany jsou vyrobeny buď z PVC (neodolávají vyšším teplotám), z PVDF, z titanu, případně vany ocelové oprýžované. Pokovování bez použití elektrického proudu se provádí tzv. bez doteku nebo s dotekem. [1]

## 1.1 Pokovení bez doteku

Tento způsob se používám tam, kde požadujeme pouze tenkou vrstvu. Vyleštěný a odmaštěný povrch se zavěsí na drát z mědi, hliníku nebo zinku a vloží se do lázně. V lázni se musí předmětem pohybovat. Po vyndání předmětu z lázně se předmět opláchne tekoucí vodou a vyleští.

## 1.2 Pokovení s dotekem

Kovový předmět se obtočí zinkovým, měděným nebo hliníkovým drátem a zavěsí na drát z jiného materiálu. Takto se předmět vloží do horké lázně o 90 °C. V lázni vzniká elektrické napětí a tím se vytvoří na povrchu předmětu silnější vrstva kovu. Dále se s předmětem nakládá stejně jako u předešlé metody. [1]

## 1.3 Galvanické pokovení

Výhodnější metodou je pokovování pomocí elektrického stejnosměrného proudu. Jejím výsledkem má být vytvoření homogenního kovového povrchu na pokovovaném materiálu, často za účelem zlepšení vzhledu, nebo zvýšení odolnosti proti korozi. U této metody můžeme dosáhnout libovolné tloušťky vrstvy, jakou potřebujeme. Prostředím, kde galvanické pokovení probíhá je galvanický systém se dvěma základními elektrodami – anodou a katodou a elektricky vodivým prostředím – elektrolytem.

Galvanická lázeň je roztok vhodné soli kovu, kterým bude pokoven předmět zavěšený na katodě a k ní elektricky připojený. Podle pH lázně může být lázeň kyselá nebo zásaditá. Kyselá obsahuje nanášený kov ve formě kationtů v jednoduché soli, což



jsou např. sírany nebo chloridy. Kyselá lázeň se používá pro niklování. Zásaditá lázeň obsahuje nanášený kov v podobě aniontů v kyanidovém komplexu. Tato lázeň se používá např. pro stříbření. Pro zlcení může být lázeň kyselá i zásaditá. Do lázně jsou přidávány další přísady ovlivňující pH nebo kvalitu vzniklého povrchu, např. leskutvorné přísady.

Pro dosažení optimálního výsledku je třeba předmět na pokovení připravit. Nejprve jsou zapotřebí mechanické operace, které zahrnují opracování povrchu do potřebné drsnosti a odstranění nežádoucích nečistot. Vrstva naneseného kovu je velmi slabá a špatně ulpívá v pórech a na výstupcích. Proto je potřeba aby byl reliéf povrchu v optimálním stavu. Dalším důležitým bodem přípravy povrchu před galvanickým pokovením je dokonalé odmaštění.

Technologie probíhá v pokovovací vaně. Pokovovaný předmět se zavěsí na záporný pól (katodu), na kladný pól (anodu) se umístí kovová deska, která je z kovu, kterým chceme předmět pokovit. [2]

Po zapnutí elektrického stejnosměrného proudu se začne kov na anodě rozpouštět a s částí drahého kovu rozpuštěném v soli přechází na katodu, kde je zavěšen předmět. Předmětem je nutno pohybovat, aby se na něm kov usadil rovnoměrně. Po pokovení v lázni se předmět opláchne a vyleští mosazným kartáčkem stejně jako v předchozích dvou metodách. Pokud jsou na předmětu místa, která nechceme, aby byla pokovena, natřeme je saponovým nebo asfaltovým lakem, který následně setřeme acetonem. [1]

### **1.3.1 Zařízení:**

Vany pro prostý ponor a armaturou pro rozvod stejnosměrného proudu. Předměty se musí zavěšovat individuálně na pevné závěsy. Protože se kovový povlak může vylučovat pouze na čistý povrch, je vana pro galvanické pokovování spojována v linku s vanami na odmašťování a moření.

### **1.3.2 Rozsah použití**

Galvanické pokovování je jedno z drahých pokovovacích úprav, proto se používá tam, kde není z technologických nebo funkčních důvodu možné využít levnější variantu. Je vyhrazeno pro malé součásti či předměty malých rozměrů složitých a přesných tvarů s malými tolerancemi. Téměř vždy je použito u předmětů vystavených účinkům atmosféry.

Z hlediska účelu můžeme galvanické pokovení rozdělit do tří skupin:

- 1) na korozně ochranné pokovování kde klademe nároky pouze na ochranu proti korozi.
- 2) ozdobně ochranné pokovování, zde požadujeme význačně estetickou funkci ale zároveň protikorozní ochranu. Pro zvlášť velké nároky se používají povlaky z drahých kovů, zejména zlata a rhodia. Povlaky musí být vysoce lesklé, čehož se dosahuje mechanickým leštěním nebo vylučováním povlaků z leskle pracujících lázní. Před vylučováním ozdobně ochranných povlaků musí být povrch základního kovu jemně vybroušen.
- 3) funkční povlaky V tomto případě nemá pokovovací vrstva ani estetickou funkci ani funkci ochrany proti korozi, nýbrž její účel je ochránit předmět proti opotřebení, ochránit proti cementaci, magnetické vlastnosti, vysokou povrchovou vodivost, nízký přechodový odpor, odrazení nebo pohlcování záření, kluzné vlastnosti atd. [3]

### **1.3.3 Galvanické pokovení v současnosti**

Současné galvanické pokovování se značně liší od způsobu používaného v nedávné minulosti. Můžeme si libovolně volit tloušťku nanášené vrstvy kovu, určitým přísadami můžeme ovlivnit tvrdost, nebo leskutvornými přísadami zvýšit lesk. Zařízení pro pokovování musí mít kontinuální filtraci a musí být udržována absolutní čistota. Odmašťování vyvážáním v hydroxidu již kvůli náročnosti přípravy šperků na pokovování není dostačující, a proto je nutné ultrazvukové nebo elektrolytické odmaštění a důkladné opláchnutí v tekoucí vodě a horké destilované vodě. Pro odstranění alkálií je vhodné ponoření předmětu do 5% roztoku kyseliny sírové s destilovanou vodou. Dnešní větší galvanizovny jsou většinou vybaveny automatizovanými pokovovacími stoly, kde se chemikálie do lázní dávkuje díky nastavenému programu, který udržuje proces ve správném režimu. Velmi dobrého výsledku můžeme docílit tím, že před zlacením, stříbřením nebo rhodiováním předmět opatříme vrstvou rtuti. Předměty z niklu, zinku a oceli je nutné nejdříve pomědit a až poté zlatit, stříbřit nebo rhodiovat.

Při přípravě pokovovacích lázní je nutné dbát zvýšené opatrnosti, neboť se pracuje s chemickými látkami, z nichž většina je prudce jedovatá a žíravá a při nevhodném zacházení by mohlo dojít ke škodám na zdraví nebo na zařízení a drahém materiálu. [4]



**Obr.1 Zlacení vnitřku kalichu [Obr.1]**



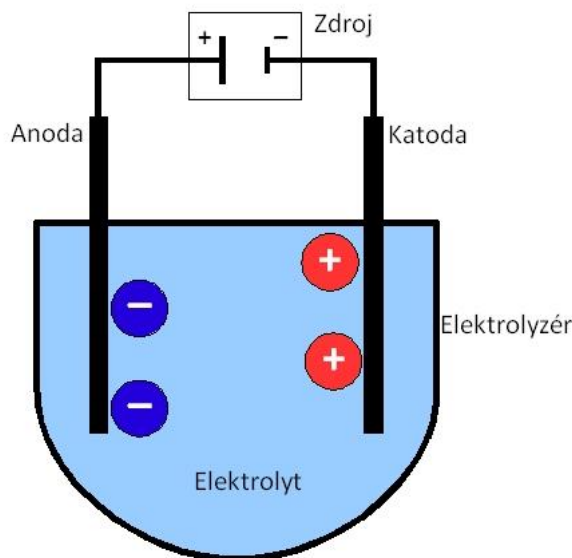
**Obr.2 Pokovovací stůl [Obr.2]**

## 1.4 Elektrolýza

Elektrolýza se využívá v mnoha průmyslových odvětvích. Mezi ně patří například elektrometalurgie, která se zabývá výrobou nebo čištěním kovů elektrolýzou. Elektrolyticky se vyrábí hliník, sodík, hořčík, vápník a další. Další obor, kde se využívá elektrolýza je galvanické pokovení, leštění, galvanoplastika, při které se vyvábějí povlaky na modely složitých tvarů nebo galvanostegie, u které je hlavním důvodem povlaku ochrana proti korozi. [2]

Přestože kovy a některé látky jsou elektricky dobře vodivé, a přitom nejeví žádné látkové změny, existuje mnoho pevných a tekutých látek, které jsou elektricky nevodivé, ale po roztavení nebo rozpuštění v rozpouštědle se stávají vodivými. Těmito látkami jsou elektrolyty. Při průchodu elektrického proudu elektrolytem nastávají látkové změny, kdy se rozkladové produkty elektrolytu usazují na pólu. Tento jev se nazývá elektrolýza. Anoda s pozitivním nábojem je místo, kde vstupuje proud do rozpuštěného elektrolytu, negativní katoda je místo výstupu. Jako elektrody se většinou využívají kovové desky. Produkty, které se hromadí na anodě se nazývají anionty, na katodě kationty. Podmínkou vodivosti roztoku je přítomnost elektricky nabitých iontů. Elektrický proud řídí volně pohyblivé ionty v roztoku ve směru opačného náboje. Na elektrodách ztrácejí ionty elektrický náboj a stávají se druhotným produktem. [5]

Reakce při elektrolýze závisejí na více faktorech, těmi nejhlavnějšími je povaha elektrolytu, teplota, proudová hustota a materiál elektrod. Elektrody se dělí na inertní a aktivní podle materiálu, z kterého jsou vyrobeny. Inertní se neúčastní elektrolytických reakcí, dochází na nich k vylučování produktů oxidace nebo redukce, nebo k reakcím produktů s rozpouštědlem. Takovouto elektrodou je například platinová elektroda. Aktivní elektrody se účastní reakcí, dochází na nich k reakcím mezi materiálem elektrody a ionty, nebo dochází k jejich rozpuštění. [6]



Obr.3 Elektrolýza [Obr.3]

## 1.5 Faradayovy zákony elektrolýzy

V roce 1833 objevil britský fyzik a chemik Michael Faraday jevy doprovázející proces elektrolýzy a sepsal je do dvou zákonů, které lze využít pro určení velikosti vzniklé pokovovací vrstvy, velikosti potřebného proudu a doby pokovení.

První Faradayův zákon elektrolýzy říká, že množství vyloučené látky účinkem elektrického proudu je přímo úměrné velikosti elektrického náboje prošlého elektrolytem.  $m = A \cdot Q = A \cdot I \cdot t$ , kde  $A$  je elektrochemický ekvivalent látky.

Druhý Faradayův zákon elektrolýzy upřesňuje výpočet konstanty  $A$  z prvního zákona. Říká, že množství různých látek vyloučených na elektrodách průchodem stejného elektrického náboje jsou v poměru svých ekvivalentů. Elektrochemický ekvivalent je konstanta charakteristická pro danou látku.  $A = \frac{M_m}{F \cdot \nu}$ , kde  $M_m$  je molární hmotnost vyloučené látky,  $F$  je Faradayova konstanta  $F = N_A \cdot e = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  ( $N_A$  je Avogadrova konstanta,  $e$  je elementární náboj),  $\nu$  je počet elementárních nábojů potřebných k vyloučení jedné molekuly. [7]

Oba zákony je pak možné vyjádřit výrazem:  $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{F \cdot \nu}$ .

## 2 Zlacení

### 2.1 Zlato

Zlato je drahý kov s výraznou žlutou barvou. Je tepelně a elektricky vodivé, chemicky odolné vůči kyselinám a solím. Je měkké, kujné, tažné. Toho se využívá pro výrobu tenkých zlatých folií. Kulička zlata o hmotnosti 1 g se dá rozklepat na folii o velikosti 1 m<sup>2</sup> s tloušťkou 230 atomů. [8]

Ložiska zlata se nacházejí po celém světě, kolem 40 % produkce pochází z USA, Jižní Ameriky, Austrálie a Ruska. Roční produkce se pohybuje kolem 2600 tun. Zlato se v přírodě vyskytuje uzavřených horninách, rudných žilách, volně uvolněné v řekách a největší množství se nachází v mořské vodě, kde je rozpuštěno jako chloridový komplex. Vyskytuje se převážně v ryzí formě, méně často ve sloučeninách. Cena zlata se pohybuje okolo 1 400 Kč za gram (podle údajů z května 2022). [9]

Zlato si jednoduše udržuje svůj lesk, protože je jedním z nejvíce nereaktivních kovů. Nereaguje ani s koncentrovanou kyselinou dusičnou. To se dá využít pro zjištění pravosti zlatého nebo pozlaceného šperku. Kyselina dusičná je silné oxidační činidlo, a proto reaguje s velkým množstvím kovů, které uvolňují vodík. Pokud je kyselina dusičná nanесena na zlatý šperk, nenastává žádná reakce. Pokud je zlato falešné, místo, kam byla nanесena kyselina, zezelená.

Čistota zlata se vyjadřuje karátech. Čisté zlato je definováno jako 24karátové zlato. Kvůli tomu, že je zlato měkké, se na výrobu šperků, jako jsou prstýnky a náhrdelníky, používá 18karátové zlato. To znamená, že je šperk z 75 % ze zlata. Zbytek slitiny tvoří většinou nikl nebo měď, který dodává tvrdost. Při výrobě šperků se zlato používá také ve slitinách s příměsí stříbra, palladia, nebo zinku. Podle množství a charakteru příměsi se mění tvrdost a barva slitiny, která může být bílá až zelená. Bílé zlato hojně používané ve šperkařství je ze slitiny zlata a niklu nebo zlata a palladia. Žluté zlato je slitina zlata se stříbrem nebo zinkem. Červenou barvu získá spojením s mědí. Zlato s kadmíem tvoří zelenou barvu, s kobaltem modrou. [8] [10] [16]

Zlato se používá k výrobě šperků, v lékařství a zubním lékařství, v elektronice, ve stavebnictví, vesmírných technologiích a v neposlední řadě k pokovení méně ušlechtilých kovů. Pro pokovovací galvanickou lázeň se používá dikyanozlatnan draselný

$K[Au(CN)_2]$ . Je to sloučenina organického původu získávaná z kyanidu. Vyrábí se úpravou kyanovodíku vodným roztokem hydroxidu draselného a následným odpařením roztoku. Dikyanozlatňan draselný je bílý prášek bez zápachu, dobře rozpustný ve vodě. [10]

## 2.2 Pozlacování

Pozlacování je mechanické plátkové zlacení, kdy se nanáší na předmět tenká vrstva zlaté folie (pozlátka). Pozlacování se dá použít na kovový i nekovový materiál. [11] Ingot slitiny zlata se rozválcuje na pláty silné 0,02 mm. Pláty se rozstřihají a jsou vloženy pod elektrický buchar, který je zpracuje na tloušťku 0,005 mm. Poté jsou plátky znovu rozstřihány a elektrickým bucharem ztenčeny na tloušťku 0,001 mm. Takto tenké plátky jsou znovu rozstřihány a zlatotepec je pomocí kladiva rovnoměrně vytepává až na tloušťku 0,0001 mm. Zlatá vrstva se na podklad připevňuje mechanicky tlakem hladítka nebo lepením. [12]

## 2.3 Žárové/Amalgámové zlacení

Amalgámové nebo také žárové zlacení je historická technika zlacení, která se dnes už běžně nepoužívá kvůli škodlivosti na lidský organismus. Tato metoda se využívá pouze v limitních případech, kdy je zapotřebí dosáhnout velmi silného a odolného povlaku. Metoda spočívá v pokrytí předmětu amalgámem a následným zahřátím, kdy se rtuť odpaří a na povrchu zbyde pouze zlatá vrstva.

Předmět se musí před pokovením nejdříve odmastit, naleptat v roztoku kyseliny dusičné a kyseliny sírové a poté opláchnout. Bronzové předměty musí být před zlacením ještě ponořeny do roztoku rtuti s kyselinou sírovou. Následně se na předmět rovnoměrně nanese amalgámová pasta a předmět se vypálí v ohni za vysoké teploty. Nakonec se předmět přešetí. [13]

## 2.4 Galvanické zlcení

Galvanické zlcení je nejvíce používaná metoda zlcení, používá se v elektrotechnice i šperkařství. Předměty určené ke galvanickému zlcení se nejdříve upravují např. poměděním nebo poniklováním. Poté jsou ponořeny do zlatíci lázně jako katoda. Jako elektrolyt je použit roztok s kyanidem zlatitým a dalšími chemikálií, nejčastěji se používá  $K[Au(CN)_2]$ . Vrstva zlata se vytvoří průchodem proudu, kdy se kladně nabitě částice uvolněné z kovových solí usazují na povrchu vodivého předmětu. Tloušťka ulpívající vrstvy je regulovatelná dobou zlcení. Takto vzniklá vrstva je velmi tenká, ale není tak trvalá jako například vrstva vzniklá plátováním. [12] [14]

## 2.5 Zlcení napařováním

Nejmodernější a nákladnou metodou je zlcení napařováním. Ve vakuové nádrži se elektricky odpaří zlato, které se usadí na povrchu, jenž má nižší teplotu než okolí. Touto metodou se dosahuje velmi tenkého a trvalého pokovení zlatem.



Obr.4: Pozlacování plátováním [Obr.4]



## 3 Stříbření

### 3.1 Stříbro

Stříbro je bílý lesklý kov. Je nejlépe elektricky a tepelně vodivé ze všech kovů. Je měkké a tažné. Díky tomu může být taženo do jemných drátků nebo roztlučeno do velmi tenkých plátů pro různá použití. Při leštění může dosáhnout výjimečně vysokého lesku.

Při výrobě šperků se stříbro obvykle leguje mědí, aby byla slitina tvrdší a měla potřebnou sílu. Například sterlingové stříbro, které se používá ve šperkařství obsahuje 7 % mědi. Jiné šperky označené jako stříbrné mají v sobě až 20 % mědi. Množství stříbra obsaženého ve šperku se udává ryzostí, což je desetinásobek procenta obsaženého stříbra. Sterlingové stříbro obsahuje 93 % stříbra, proto je jeho ryzost 930.

Stříbro se často používá na pokovení šperků nebo jídelního náčiní. V procesu pokovování se elektrický proud používá k nanesení tenkého ochranného povlaku stříbra na levnější kovy, což výrazně zlepšuje vzhled a trvanlivost.

Stříbro nereaguje se kyslíkem, ale postupem času na vzduchu zajde. Černý film, který se na povrchu vytvoří je sulfid stříbrný. Rozklad rostlinných hmot má za následek přítomnost malého množství sirovodíku v ovzduší. Tato látka reaguje se stříbrem a na povrchu stříbrného předmětu vzniká černý film.

Stříbro se kromě šperkařství používá v zubním lékařství, na výrobu fotografických filmů a papírů, v elektronice a nanotechnologiích. [16]

### 3.2 Stříbření

Pro stříbření se používá stoprocentní stříbrná vrstva, která je aplikována na pevnou stříbrnou základnu. Poskytuje kovu dlouhodobý lesk a ochranu proti poškrábání. Ve většině případů se používá vrstva silná 1 mikrometr, popřípadě 2 mikrometry. Často se na stříbrný povlak aplikuje ještě e-nátěr, který chrání šperk, aby zůstal zářivě čirý.

Typicky se stříbrná vrstva nanáší na levnější kov, jako je například ocel, měď nebo mosaz. Lze postříbřit i nevodivý materiál jako keramiku nebo sklo. Stříbro se snadno vylučuje na předmětech z oceli, bronzu, zinku, aj. Vzniklý houbovitý povlak má špatnou přilnavost, proto je potřeba povrch nejdříve předupravit, aby byla zaručena dobrá adheze.

Stříbricí lázeň se připravuje ze soli kyanidu stříbrného, kyanidu alkalického kovu, uhličitanu alkalického kovu a hydroxidu alkalického kovu. Převládající část použitých solí jsou na bázi draselných solí, neboť jsou více vodivé nežli sodné soli a nezpůsobují žloutnutí povrchu. Stříbro se do lázně obvykle přidává jako  $KAg(CN)_2$  a množství stříbra je 10 – 40 g na litr. [17]

Základní elektrolyty vylučují povlaky matné, leskutvorné účinky mají různé kombinace kovových a organických sloučenin. Známa leskutvorná přísada je sirouhlík, udržování správné koncentrace je však obtížné. [7]

Kyanidová lázeň se připravuje při pokojové teplotě, pro zvýšení proudové účinnosti ji lze zahřát až na 35 °C. Při procesu stříbření je třeba s předměty pohybovat, aby nastalo rovnoměrné pokovení. Stříbrné anody by měly být z lázně odstraněny na delší dobu mezi operačními procesy, aby se zabránilo nadměrnému usazování stříbra v lázni.

Téměř veškeré průmyslové postříbření se provádí pomocí alkalických kyanidových roztoků. Kyanidové postříbření má celou řadu výhod – kyanid velmi dobře tvoří komplexy, jeho roztoky mají vynikající přilnavost, vytvářejí na povrchu čistě bílou barvu a plně lesklý povrch. Navíc se chemické procesy s využitím kyanidových lázní snadno řídí a mají široký rozsah koncentrací. Výzkum se snaží nalézt metodu stříbření, ve které by nebylo nutné používat těchto toxických látek, avšak dosud všechny potenciální náhrady měly špatnou adhezi a nevytvořily dostatečně kvalitní povlak. [17]

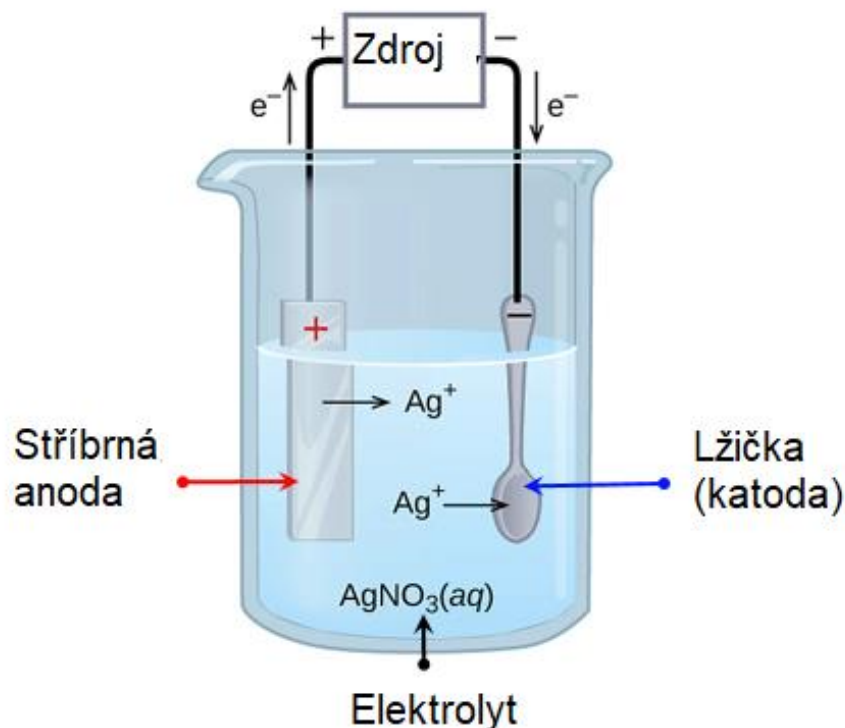
### 3.2 Bezproudové stříbření

První náhradou kyanidové a formaldehydové lázně je roztok obsahující komplex stříbra, thiasíranovou sůl a siřičitanovou sůl. Tato metoda postříbření je bezproudá a výsledný vzhled je matně šedý.

Další proces z roku 1999 je popsán jako redukce stříbra komplexy kobaltu. Rychlost pokovení stříbrem je touto metodou poměrně nízká.

V roce 2008 se podařilo využít vitamínu B2 jako redukčního činidla při syntéze Ag bez použití škodlivých redukčních a dispergačních činidel. Roztok lázně obsahuje dusitan stříbrný, vitamin B2, kyselinu octvou, ethylenglykol, NMP a sacharózu.

O pět let později výzkum přišel s ekologickým pokovováním magnetických částic  $\text{TiO}_2$  potažených železem za použití ultrazvukového ošetření bez toxických přísad. Roztok lázně sestává z dusičnanu stříbrného, glukózy, citrátu sodného, hydroxidu draselného a hydroxidu amonného. [18]



Obr.5: Galvanické stříbření [Obr.5]

## 4 Niklování

### 4.1 Nikl

Nikl je lesklý, stříbrno-bílý, kujný a tažný kov. V přírodě se vyskytuje jako ryzí nebo v rudách s kobaltem. Má feromagnetické účinky, na vzduchu i ve vodě je stálý. Nikl je velmi odolný proti korozi a je často přidáván k jiným kovům pro vytvoření slitin rezistentních proti oxidaci. Nikl je z 8 % zastoupen v nerezové oceli ještě s chromem, který tvoří 18 % obsahu.

## 4.2 Niklování

Niklování, je technika, která dodává na ochranný povlak niklu na povrch kovu, jako je železo nebo ocel, o kterém je známo, že poměrně snadno koroduje. [16]

Niklování je nejstarší způsob pokovování, používá se jako konečný povlak nebo jako mezipovlak při chromování. Ocel a hliník lze niklovat přímo na základní materiál, zinkové předměty se niklují na mezipovlak mědi.

Existuje několik typů používaných elektrolytů:

Síranové lázně – většinou se používají lázně, kde je jako hlavní složka síran nikelnatý  $\text{NiSO}_4$ , s přísadou malého množství chloridu nikelnatého  $\text{NiCl}_2$ . Z těchto elektrolytů lze vyloučit povrch jemnozrný, matný, s malým vnitřním pnutím.

Chloridové lázně – mechanické vlastnosti povrchů vytvořených v chloridových lázních jsou špatné. Elektrolyty jsou velmi vodivé, proto mají menší spotřebu proudu a velkou hloubkovou účinnost. Proti síranovým lázním je povlak křehčí a lázeň agresivní. Po přidání leskutvorných přísad lze z těchto elektrolytů vylučovat vysoce lesklé vrstvy.

Lázně fluoroboritanové a sulfamátové – používané v galvanoplastice, používají se lázně s vysokou koncentrací kovu. Povlaky z těchto lázní jsou kvalitní, ale náklady na chemikálie jsou vysoké.

Existují i černé niklové povlaky, které mají především dekorativní účel. Nejsou vhodné jako ochrana proti korozi.

Niklovací lázně jsou oproti ostatním galvanickým lázním citlivé na znečištění. Ty mají vliv na barvu, vzhled a přilnavost výsledného povrchu. [7]

## 5 Rhodiování

### 5.1 Rhodium

Rhodium je chemický prvek se značkou Rh. Je to bílý tažný kov, který má v práškové formě světle šedou barvu. Patří mezi ušlechtilé kovy. Jeho název je odvozen

z jeho typické růžové barvy některých svých sloučenin. Rodoeis znamená řecky růžový.  
[19]

Vyniká velice dobrou chemickou stálostí a odolností, dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí a celkem vysokou tvrdostí. Rozpouští se pouze v nejsilnějších kyselinách, koroduje pouze vlhkým Cl za vysokých teplot a v lučavce královské.

Rhodium bylo objeveno v roce 1803 anglickým chemikem Williamem Hyde Wollastonem, který o rok dříve objevil palladium. Získal ji z platinové rudy z Jižní Ameriky. V době jeho objevu se získávalo rozpuštěním rudy v lučavce královské a výsledný roztok byl neutralizován hydroxidem sodným. Přidáním chloridu amonného se vysrážela platina a rhodium pomocí chloridu sodého. [20]

Rhodium se nejvíce používá v průmyslové výrobě. Slitina rhodia s platinou se používá na výrobu termoelektrických článků a jako katalyzátor při výrobě kyseliny dusičné z amoniaku.

Ve zlatnictví se používá k pokovování šperků. Ze slitiny rhodia s platinou se vyrábí laboratorní náčiní, které má dobrou mechanickou, tepelnou a chemickou odolnost. Dále se tato slitina používá pro pomůcky a nástroje v zubním lékařství, osvětlení na operačních sálech a v letectví na vnitřní stěny trysek pro plynové turbíny. [21] Dále rhodium najdeme v předmětech jako dekorace, zrcadla pro náročné použití nebo pro antikorozi úpravu povrchu. Dnes se největší množství rhodia (až 80 %) využívá do automobilových katalyzátorů.

Rhodium je kromě lučavky královské také rozpustné při teplotě 150 °C v kyselině chlorovodíkové obohacené kyslíkem, v horké koncentrované kyselině sírové nebo rozpuštěné kyselině hydrogenfosforečné.

Průměrně se v zemské kůře vyskytuje 0,001 ppm rhodia. Přírodní rhodium je tvořeno jedním izotopem  $^{103}\text{Rh}$  a uměle bylo vytvořeno 23 radioaktivních izotopů s nukleonovými čísly 94 až 117.

V přírodě rhodium najdeme v platinových rudách nebo zlatonosných pískách. Minerály obsahující rhodium jsou např. kuprorhodsit ( $\text{CuRh}_2\text{S}$ ), čerepanovit ( $\text{RhAs}$ ), polkanovit ( $\text{Rh}_{12}\text{As}$ ) nebo miassit ( $\text{Rh}_{17}\text{S}_{15}$ ). [19] Rhodium se stejně jako platina nachází v přírodě i v podobě částec, jež se nejvíce rozpouští v dešťové vodě o pH 1. V

takovémto prostředí se však rozpustí maximálně 1 % obsaženého rhodia. V případě, že jde o reálné podmínky je rozpustnost až o 2 řády nižší. Kvůli těmto aspektům je maximální v přírodě dosažitelná rozpustnost 0,06. [11]

Rhodium se nachází s platinou a ostatními platinovými kovy v Rusku, Kanadě, Kolumbii, jižní Africe, USA a Austrálii. [21]

Roční produkce rhodia jsou pouze 3 tuny, čímž se také řadí mezi nejvzácnější a nejdražší kov mezi non-radioaktivními kovy. Výhodami jsou tvrdost, jeho reflexní a korozivzdorné vlastnosti a větší odolnost proti agresivním chemikáliím, potu, světlu a dalším vnějším vlivům oproti zlatu. V současnosti dosahuje rhodium rekordní ceny, která se pohybuje kolem 15 000 Kč za 1 g (podle údajů z května 2022).

Rhodium se díky svým fyzikálním vlastnostem a vzhledu velmi dobře hodí pro pokovování šperků. Často se používá jako finální úprava jinak nažloutlého bílého zlata, slitin mědi nebo zinku, stříbra, platiny nebo palladia, čímž se zvýší oteruvzdornost. [4]

Rhodiování je druh povrchového pokovování, kdy se na kovový materiál nanese tenká vrstva ušlechtilého kovu platinové skupiny – rhodia, která bezpečně chrání povrch předmětu proti oxidaci. [22]

Často se obnovují obnošené šperky trvalým rhodiovým povlakem, čímž se dodá vyšší lesk. Méně často se vyrábějí šperky právě z rhodia, jejich ceny jsou však mnohonásobně vyšší než zlaté šperky, a to hlavně z důvodu vzácnosti tohoto kovu.

Rhodiová vrstva je součástí šperků z bílého zlata, platiny, palladia nebo stříbra čím dál častější. Stříbrné šperky jsou tak chráněny proti oxidaci a korozivnímu černání. Rhodium se používá taktéž k pokovení mědi a zinku.

Slitiny bílého zlata jsou původně našedivělé až nažloutlé barvy. Právě proces rhodiování dodá kovu výraznější stříbrnou barvu a vysoký lesk. U obnošených šperků dokáže zakrýt i různá škrábnutí a drobná poškození.

Rhodium je hypoalergenní kov, což je také jeden z důvodů použití této dokončovací úpravy na šperkách. Pokud někdo trpí alergií na stříbro, zlato nebo nikl, který je častou složkou slitiny bílého zlata u prstenů, vybírá právě šperk s ochrannou

vrstvou, která zamezuje přímému styku alergenního kovu s pokožkou. Na tento vzácný kov dosud nejsou známy případy alergické reakce.

Pokovení rhodiem se provádí galvanicky v galvanické lázni nebo kontaktně pomocí speciálního pera. Kontaktní pokovování je vhodné pouze pro malé plochy. Galvanické lázně rhodia můžou mít bílou nebo černou barvu podle toho, jaký výsledek si žádáme. Bílá lázeň krásně šperk rozzáří stříbrnobílým leskem, oproti tomu použitím černé lázně získáme antracitově černý lesklý povrch.

Tloušťka vrstvy rhodia se u šperků volí 0,75-1,5 mikrometru a má vliv na výdrž lesknoucí se stříbrné barvy. Mimo to je také důležitý aspekt, z jaké slitiny bílého zlata je předmět vyroben. V zásadě se vybírá ze tří možností příměsí. Zinek má lehce barvu dožluta, což není příliš žádané. Palladium je krásně bílé, ale příliš měkké. Slitiny s niklem se využívají nejčastěji, neboť mají bílou barvu a jsou velmi tvrdé, což je vhodné pro každodenní nošení šperků. [23]



Obr.6: Šperky před a po rhodiování [Obr.6]

## 5.1 Postup při rhodiování

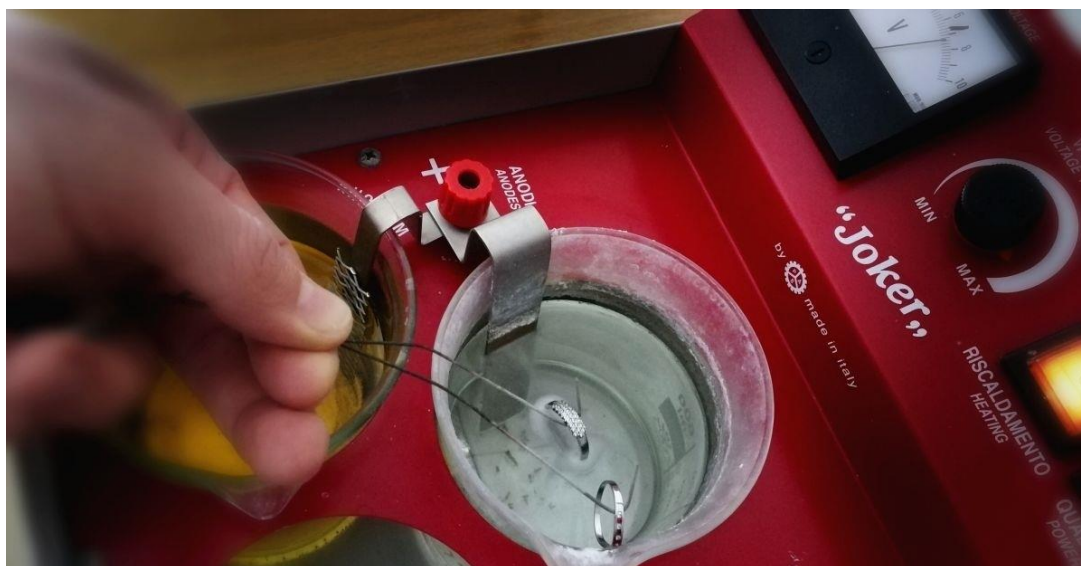
Do skleněné nádoby s anodou se zavěsí předmět na vodivý háček jako na katodu (např. z mědi nebo stříbra), který je napojen na napětí 6-8 V. Teplota by měla být mezi

20-25 °C a ponor trvá 45 sekund. Tímto odstraníme nečistoty, prach, organické zbytky a především mastnotu.

Následuje oplach v destilované vodě a poté v tekoucí vodě. Dále se předmět ponoří na 30 sekund do neutralizační soli (např. hydroxid sodný) o teplotě 20-25 °C. Poté znovu opláchně v destilované vodě.

Rhodiování se provádí v pokovovací lázni s 2 gramy rhodia na 1 litr destilované vody nebo s roztokem kyseliny sírové se síranem rhoditým. Rhodiová anoda je napojena na napětí 2,5 až 3 V, teplota lázně 25-35 °C. Ponor trvá 1 až 2 minuty. Následuje oplach ve vodě. Pro rovnoměrné pokovení rhodiem je nutné s předmětem pohybovat. [1]

Nutností pro kvalitní pokovení je čistota oplachovacích a odmašťovacích lázní, proto musíme vodu často měnit. U rhodiové lázně se musí kontrolovat koncentrace rhodia, aby nebyla příliš nízká. V opačném případě by se nepodařilo kov souvisle pokovit a prosvítala by barva původní kovu. [24]



Obr.7: Proces rhodiování [Obr.7]

## 5.2 Chyby při rhodiování šperků

Pro správný výsledek, který při rhodiování požadujeme, je nutné nastavit správné parametry. Při příliš vysokém napětí může předmět v místě dotyku zčernat, které je následně nutno znovu přešetřit a porhodiovat. Avšak několikanásobné rhodiování není vhodné, neboť je potom vrstva příliš silná, nekvalitní a může se časem odlupovat, nebo



můžе být vrstva nejednotná a poté se na povrchu objevují skvrny. Lepší je vrstvu z celého předmětu obrousit, přešetřit a znovu rhodiovat celý předmět s čistým povrchem. Pokud šperk špatně odmastíme, očistíme nebo ho nezbavíme oxidované vrstvy, můžou se na povrchu objevit skvrny.

Nevýhodou galvanického pokovení je, že se ukážou všechny nedokonalosti povrchu. Zvýrazní se chyby v odlitku, které nebyly opraveny, škrábance, rýhy, špatně vyleštěné plochy. Proto musí být šperk před pokovením důkladně zkontrolován a očištěn. [24]

## **6 Oxidace**

Nová populární povrchová úprava šperků je oxidace, která dodává šperku zastaralý vzhled. Tento proces se používá například u rytých kovů, po němž rýhy (např. nápisy) zčernají a budou více kontrastní. Oxidace je dokončovací práce, nejedná se o nátěr nebo povlak. [4]

## 7 Praktická část bakalářské práce

V praktické části bylo provedeno galvanické pokovení zlatem a niklem. Pro pokovení byly zvoleny čtyři materiály – měď, mosaz, ocel AISI 304 a ocel AISI 316L.

### 7.1 Charakteristika použitých materiálů

Měď je načervenalý ušlechtilý kov, má velmi dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, je to biogenní prvek. Je odolný proti atmosférické korozi, protože na povrchu vytváří ochrannou vrstvičku uhličitanu měděného (měděnku), ale na vzduchu postupně tmavne vlivem oxidace a dostává rezavohnědou barvu. Měď je měkká, a proto se výborně hodí na výrobu šperků.

Mosaz je slitina mědi a zinku. Je dobře elektricky a tepelně vodivá, tvárná, odolná proti korozi. Mívá červenou až zlatou barvu, podle obsahu zinku. Použitý vzorek mosazi má zlatou barvu, proto má pravděpodobně kolem 35 % Zn.

Ocel AISI 304 (DIN 1.4301 ČSN 17 240) je hojně používaná austenitická chrom-niklová nerezová ocel, dobře tvářitelná a svařitelná, má širokou oblast použití – v potravinářském, farmaceutickém, papírenském a chemickém průmyslu.

Ocel AISI 316L (DIN 1.4404 ČSN 17 349) je nerezová chirurgická šperkařská ocel, obsahuje chrom, nikl a molybden. Je hypoalergenní, lehká, vysoce lesklá, odolná proti poškrábání, nemění na vzduchu svoje vlastnosti. Má výborné vlastnosti pro použití na výrobu šperků.

### 7.2 Příprava vzorků pro rozbor mikrostruktury materiálu

Všechny čtyři materiály byly dodány v polotovaru dlouhé kulatiny o průměru 10 mm. Nejdříve byly na metalografické pile z každého materiálu uříznuty válečky do požadované délky cca 1,2 cm.

Dále byly pomocí stroje Citopress-30 značky Struers zality do zalévací hmoty.

Takto připravené vzorky byly následně broušeny na metalografické brusce s brusnými papíry o zrnitosti nejdříve 150, poté 250, 400, 800, 1500 a nakonec 2500. Po výměně brusného papíru za menší zrnitost byl vždy směr broušení otočen o 90°.

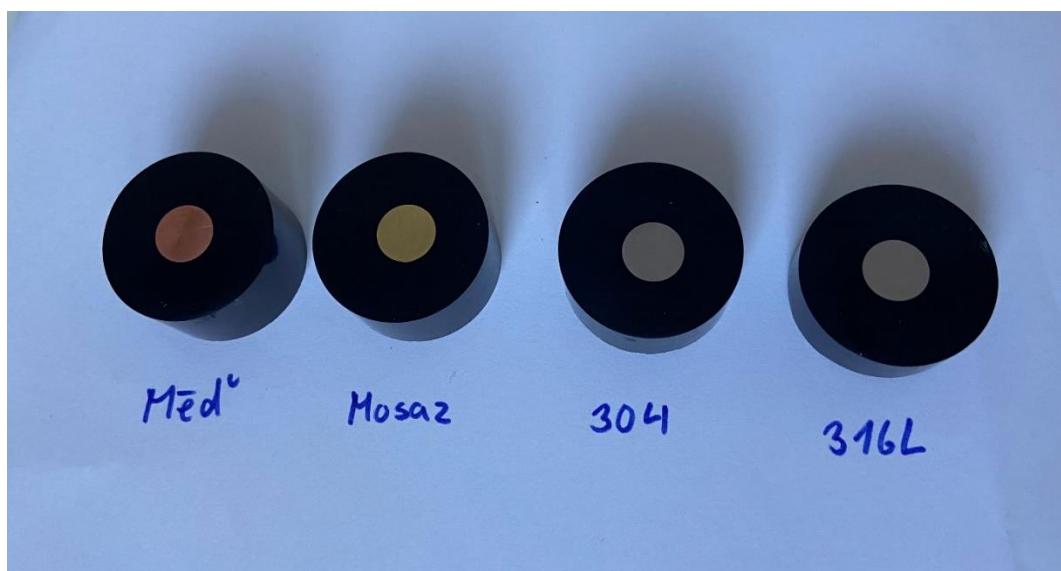
Následně byly vzorky leptány. Měď byla leptána pomocí leptadla o na měď a její slitiny (složení leptadel viz Tab.2), mosaz pomocí leptadla na mosazi a obě oceli byly nejdříve neúspěšně leptány leptadlem Vilella-Bain pro vysoce chromové feritické a

chrom-manganové austenitické oceli, dále znovu neúspěšně leptadlem na austenitické oceli o složení HNO<sub>3</sub>, HF a Glycerin v poměru 2:2:1 a nakonec úspěšně leptadlem s označením Hamil.

**Tab.1: Tabulka leptadel**

Materiál vzorku	Složení leptadla	Úspěšné leptání
Měď	30 ml HCl + 10 g FeCl <sub>3</sub> , 120 ml etanolu	ano
Mosaz	80 ml H <sub>2</sub> O + 5 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 10 g Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	ano
Ocel AISI 304	10 ml HCl + 2 g kys. Pikrové + 190 ml etanolu	ne
Ocel AISI 316L	10 ml HCl + 2 g kys. Pikrové + 190 ml etanolu	ne
Ocel AISI 304	HNO <sub>3</sub> : HF : glycerin v poměru 1:1	ne
Ocel AISI 316L	HNO <sub>3</sub> : HF : glycerin	ne
Ocel AISI 304	10 ml etanolu, 20 ml HCl, 20 ml HNO <sub>3</sub> , 10 ml HF, 0,15 ml glycerinu, 0,1 ml peroxidu	ano
Ocel AISI 316L	10 ml etanolu, 20 ml HCl, 20 ml HNO <sub>3</sub> , 10 ml HF, 0,15 ml glycerinu, 0,1 ml peroxidu	ano

U takto připravených vzorků byla pozorována mikrostruktura pomocí světelného mikroskopu.

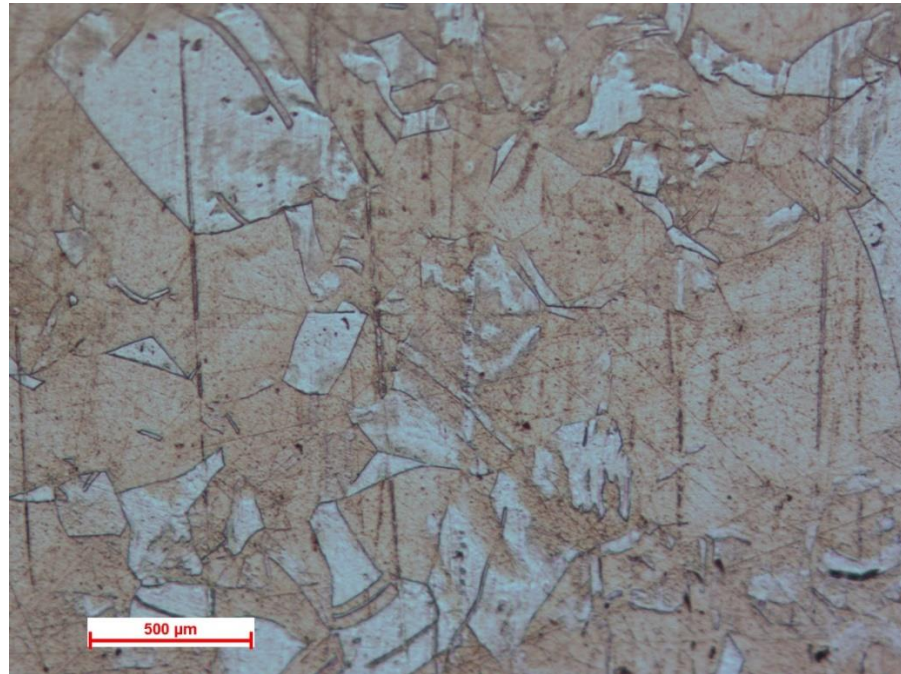


**Obr.8: Vzorky ve vyleštěném stavu**

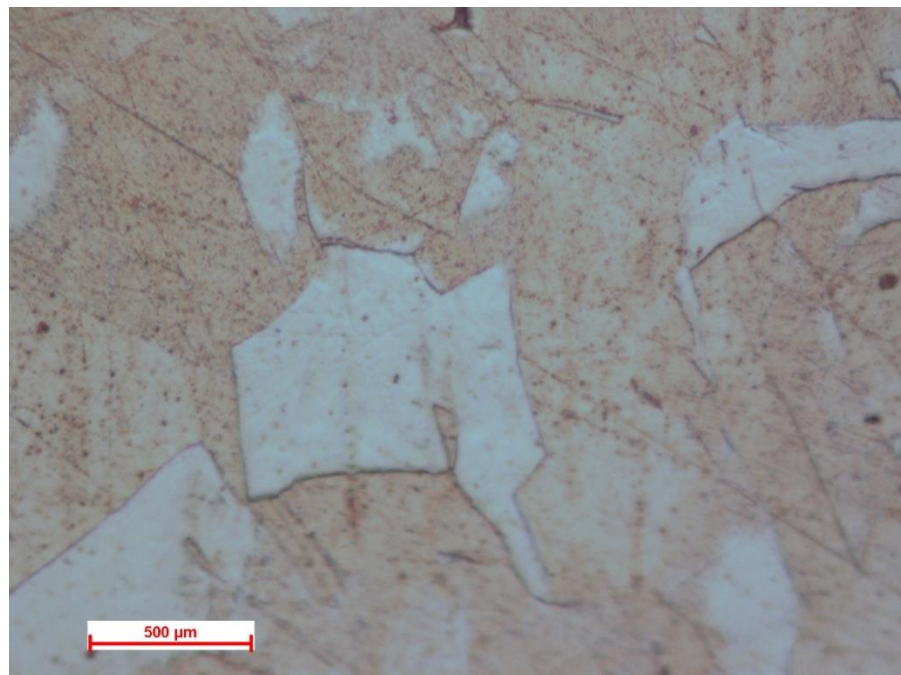
## 7.3 Mikrostruktura materiálů vzorků

### 7.3.1 Měď

Na snímcích jsou vidět zrna  $\alpha$ -mědi a dvojčata.



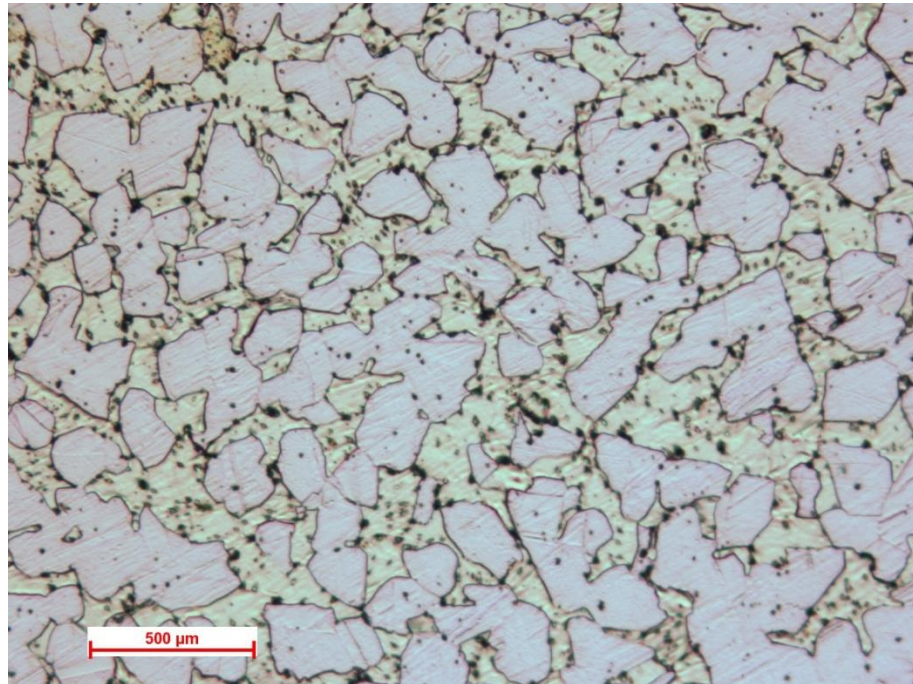
Obr.9: Mikrostruktura mědi, zvětšení 200x



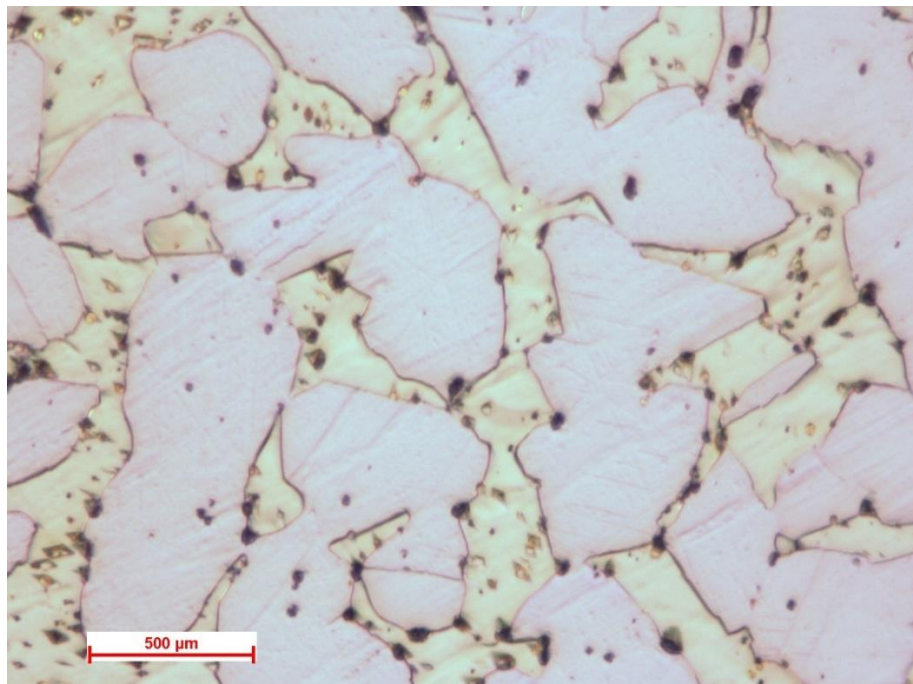
Obr.10: Mikrostruktura mědi, zvětšení 500x

### 7.3.2 Mosaz

Na snímcích mikrostruktury mosazi jsou vidět zrna  $\alpha$ -fáze a zrna  $\beta$ -fáze



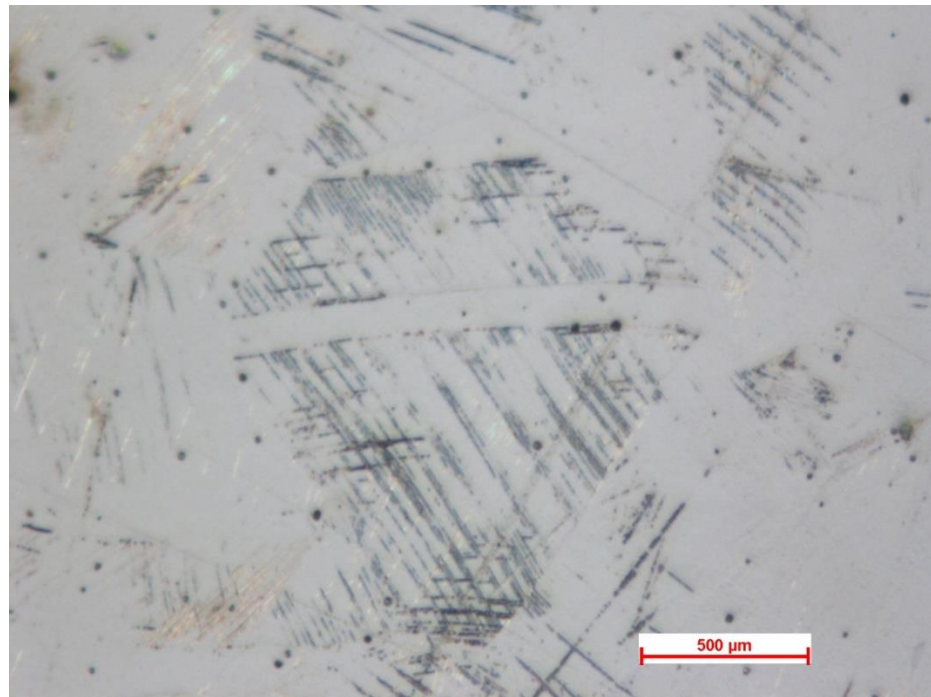
Obr.11: Mikrostruktura mosazi, zvětšení 200x



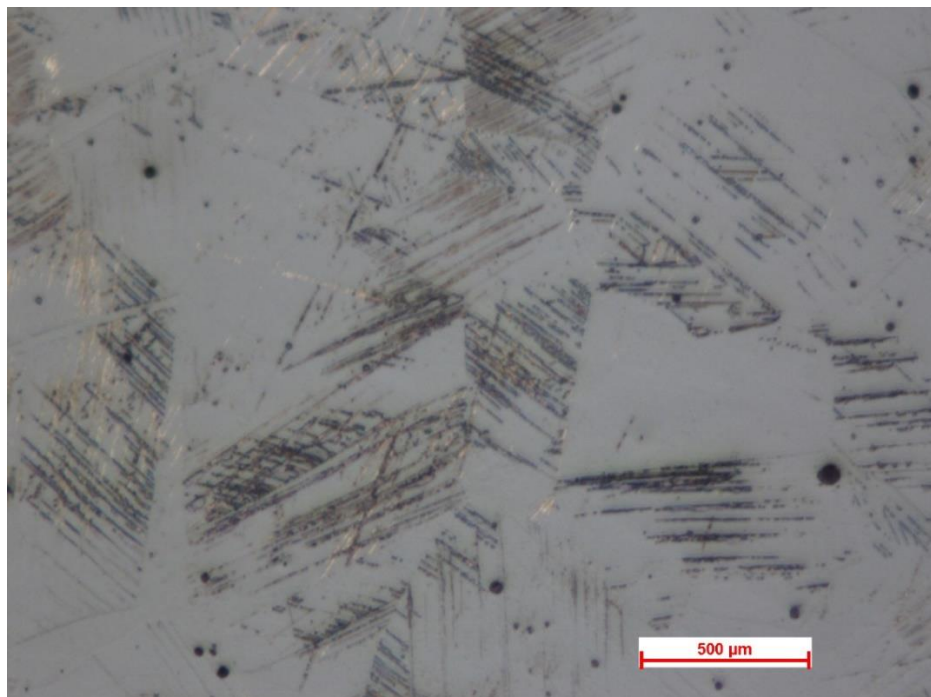
Obr.12: Mikrostruktura mosazi, zvětšení 500x

### 7.3.3 Ocel AISI 304

Mikrostrukturu oceli AISI 304 tvoří austenitická matrice, fáze  $\alpha'$  a jemný ferit.



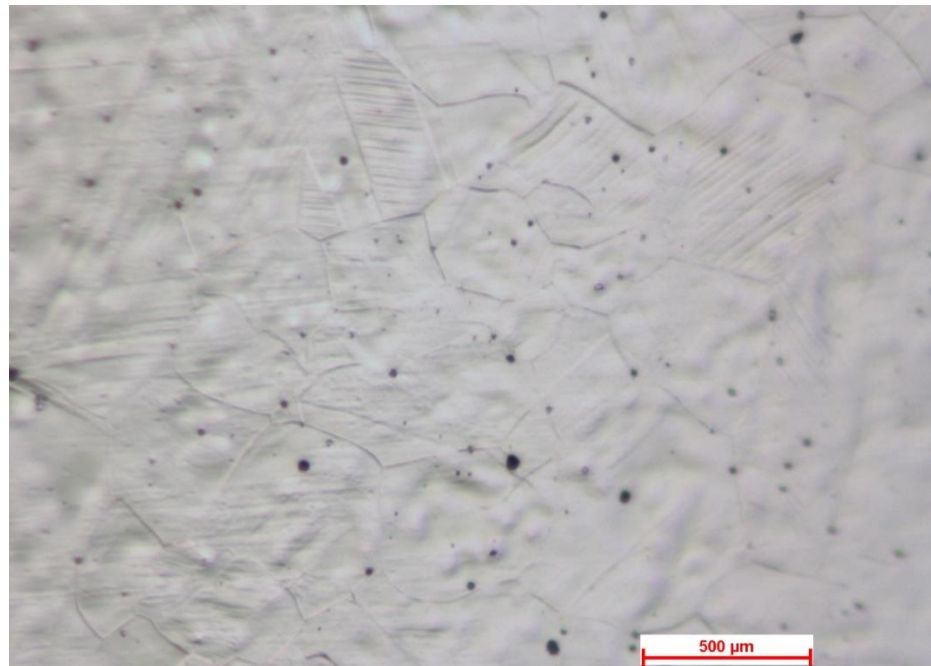
Obr.13: Mikrostruktura oceli AISI 304, zvětšení 500x



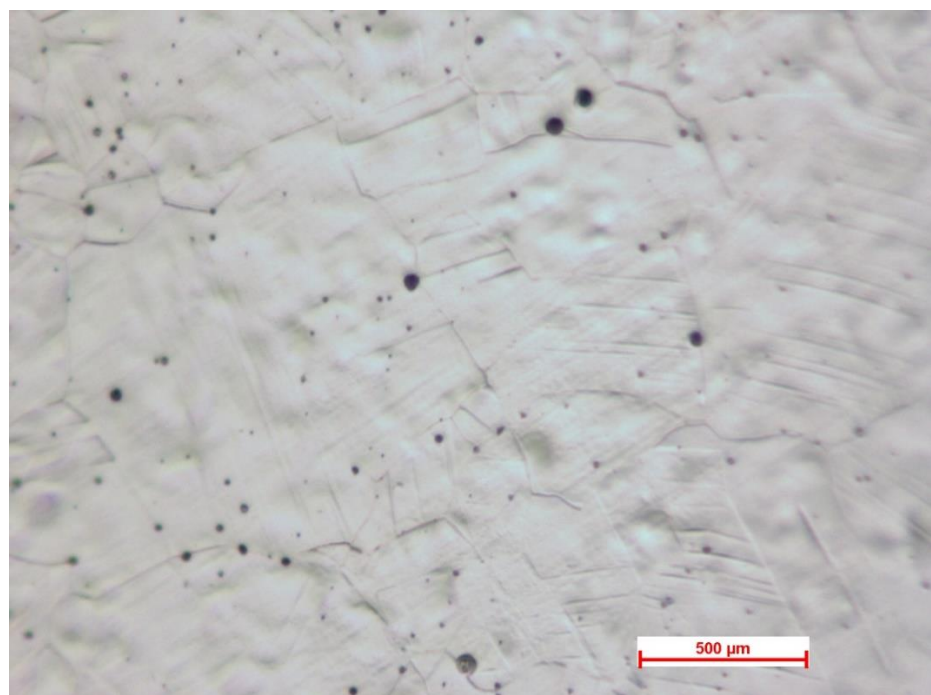
Obr.14: Mikrostruktura oceli AISI 304, zvětšení 500x

### 7.3.4 Ocel AISI 316L

Mikrostruktura oceli AISI 316L je austenitická.



**Obr.15: Mikrostruktura oceli AISI 316L, zvětšení 500x**



**Obr.16: Mikrostruktura oceli AISI 316L, zvětšení 500x**

## 7.4 Příprava vzorků pro pokovení

Bylo nařezáno 20 vzorků dlouhých cca 1,5 cm z kulatin pěti materiálů. Použité materiály jsou měď, mosaz, ocel AISI 304, ocel AISI 316L a ocel AISI 316.

Nařezané materiály byly dále zality do vodivé zalévací hmoty a poté broušeny na ruční metalografické brusce. Byly použity brusné papíry se zrnitostí od 250 do 2500. Následovalo leštění na metalografické leštičce s drsností 3  $\mu\text{m}$ . Všechny vzorky byly nakonec vyčištěny v ultrazvukové čističce.

## 7.5 Příprava galvanické lázně

### 7.5.1 Zlacení

Do plastové nádoby byl nalit zlatící elektrolyt o pokojové teplotě skládající se z  $(\text{NH}_4)_3\{\text{Au}(\text{SO}_3)_2\}$ . Bylo změřeno pH elektrolytu. Hodnota pH vyšla 9,5, což odpovídá zásadité lázni. Do roztoku byl vložen vodivý článek, který byl následně připojen jako anoda. Připravený vzorek byl zapojen jako katoda. Následně byl zapnut stejnosměrný proud a nastavena odpovídající hodnota napětí a proudu. Doporučená hodnota napětí pro zlacení je 2-3 V, doporučená hodnota proudové hustoty pro zlacení je 20-50  $\text{mA}/\text{cm}^2$ . Když bylo vše připravené, vzorek byl ponořen do lázně, v které proběhla elektrolytická reakce.

Vzorek byl z nádoby odebrán po několika sekundách, opláchnut vodou a ethanolem. Pomocí vaty namočené v ethanolu byla vyzkoušena přilnavost vzniklé zlaté vrstvy. Pokud pokovení nebylo dostatečně kvalitní, byl celý pokus zopakován.

Dva vzorky mědi se podařilo pozlatit hned na první pokus. Vyhodnocení, že se pokus povedl bylo v tomto případě jednoduché díky odlišné barvě vzniklé zlaté vrstvy.

Vzniklou vrstvu zlata na vzorcích z mosazi zlaté barvy bylo třeba ověřit pomocí kyseliny dusičné, protože nebylo možné pouhým pohledem určit, zda byla vrstva vytvořena. Kyselina dusičná se zlatem nereaguje. Pokud by zlatá vrstva na vzorku nevznikla, vytvořila by se na povrchu, kam byla kyselina dusičná aplikována, zelená skvrna. Tento pokus potvrdil, že se na obou vzorcích mosazi vytvořilo zlaté pokovení.

Pokovení vzorků z ocelí AISI 304, 316 a 316L nebylo úspěšné, proto byla potřeba oceli namořit. Jako první bylo použito mořidlo z kyseliny chlorovodíkové a ethanolu



v poměru 1:1. Tento pokus byl neúspěšný i po několika opakování a zkoušení různých délek moření. Jako druhé mořidlo byl vyzkoušen roztok kyseliny chlorovodíkové a destilované vody v poměru 1:1. Tento pokus byl úspěšný a na všech vzorcích byla vytvořena zlatá vrstva.

Délky moření, hodnoty napětí, hodnoty proudu a délky pokovení jsou udány v tabulce 2.

**Tab.2: Parametry pokovení zlatem**

Vzorek	Moření	Proud [A]	Napětí [V]	Délka pokovení
Měď 1	ne	0,02	2,49	4:51,22
Měď 2	ne	0,02	3,01	5:30,19
Mosaz 1	ne	0,04	2,49	0:23,25
Mosaz 2	ne	0,04	2,49	0:32,12
Ocel AISI 304 1	4:00,00	0,02	3,05	1:30,15
Ocel AISI 304 2	4:00,00	0,02	3,07	0:41,47
Ocel AISI 316L1	4:00,00	0,02	2,75	0:35,46
Ocel AISI 316L 2	4:00,00	0,02	3,07	1:33,29

### 7.5.2 Niklování

Stejný postup byl proveden při pokovení niklem s rozdílem, že do lázně byl nalit niklovací elektrolyt, který obsahoval  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Lázeň měla pokojovou teplotu. Bylo změřeno pH, které má hodnotu 3,5, což odpovídá kyselé pokovovací lázni. Doporučená hodnota napětí pro niklování je 2-4 V, doporučená hodnota proudové hustoty pro zlcení je 10-50 mA/cm<sup>2</sup>

Pokovení niklem se dařilo lépe, žádný z materiálu nebylo třeba předem mořit.

Délky moření, hodnoty napětí, hodnoty proudu a délky pokovení jsou udány v tabulce 3.

**Tab.3: Parametry pokovení niklem**

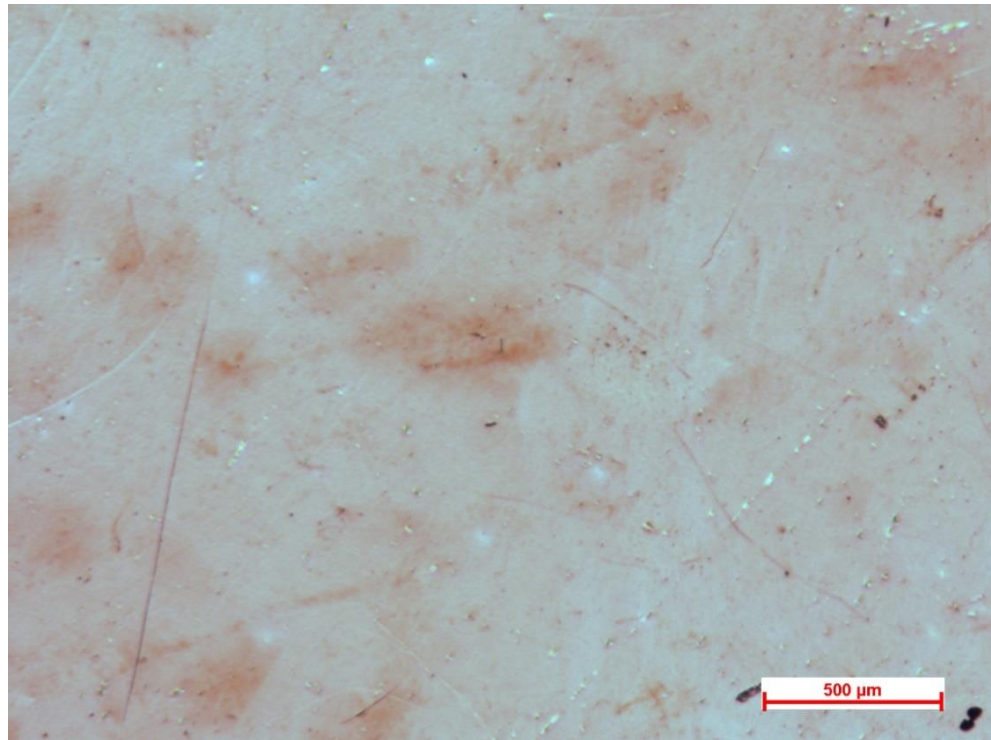
Vzorek	Moření	Proud	Napětí	Délka pokovení
Měď 3	ne	0,02	3,61	0:20,52
Měď 4	ne	0,02	3,61	0:11,84
Mosaz 3	ne	0,04	3,62	0:22,41
Mosaz 4	ne	0,04	3,61	0:15,76
Ocel AISI 304 3	ne	0,02	3,62	0:39,99
Ocel AISI 304 4	ne	0,02	3,62	0:46,42
Ocel AISI 316L 3	ne	0,03	3,62	0:11,56
Ocel AISI 316L 4	ne	0,03	3,62	0:15,76



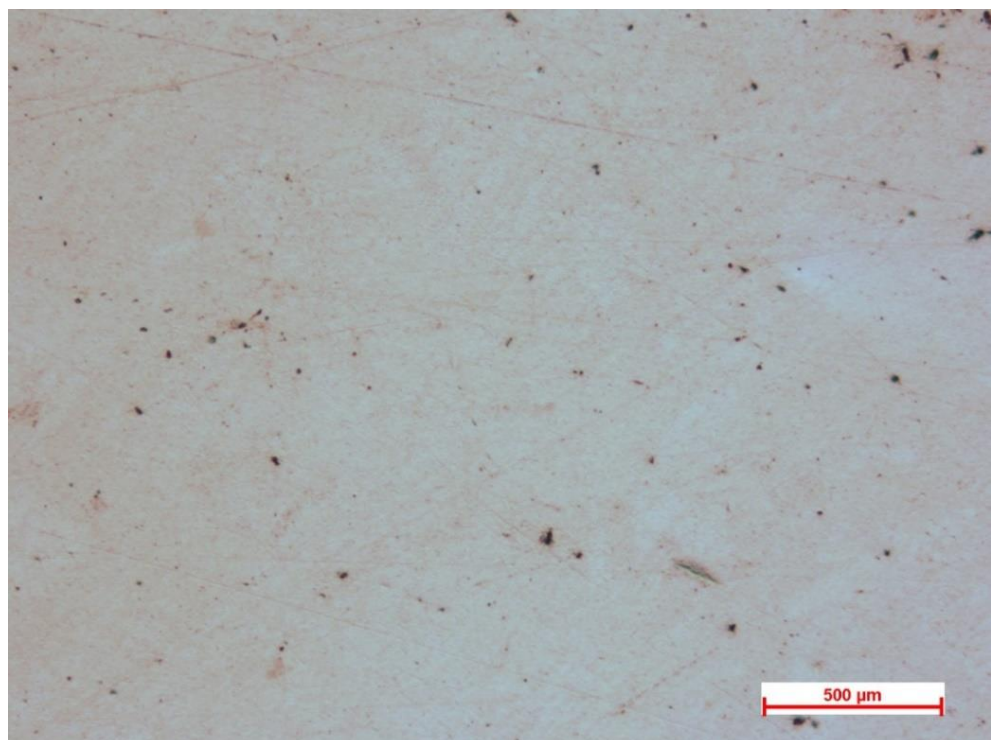
**Obr.17: Proces niklování**

## 7.6 Snímky vytvořené vrstvy

### 7.6.1 Pozlacená měď

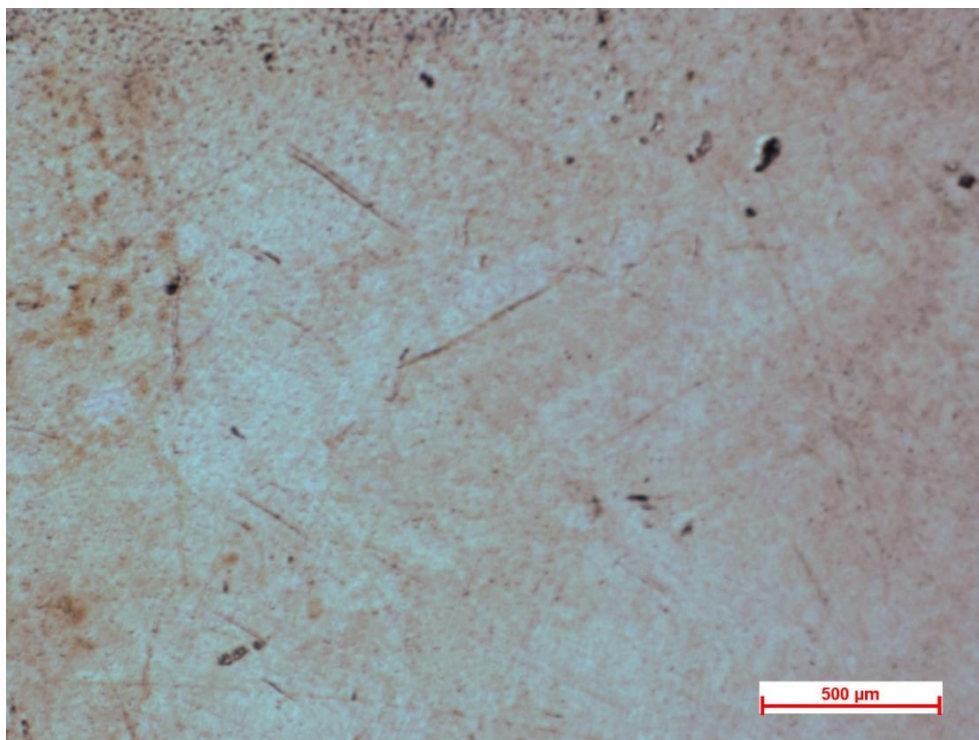


Obr.18: Pozlacená měď, zvětšení 50x

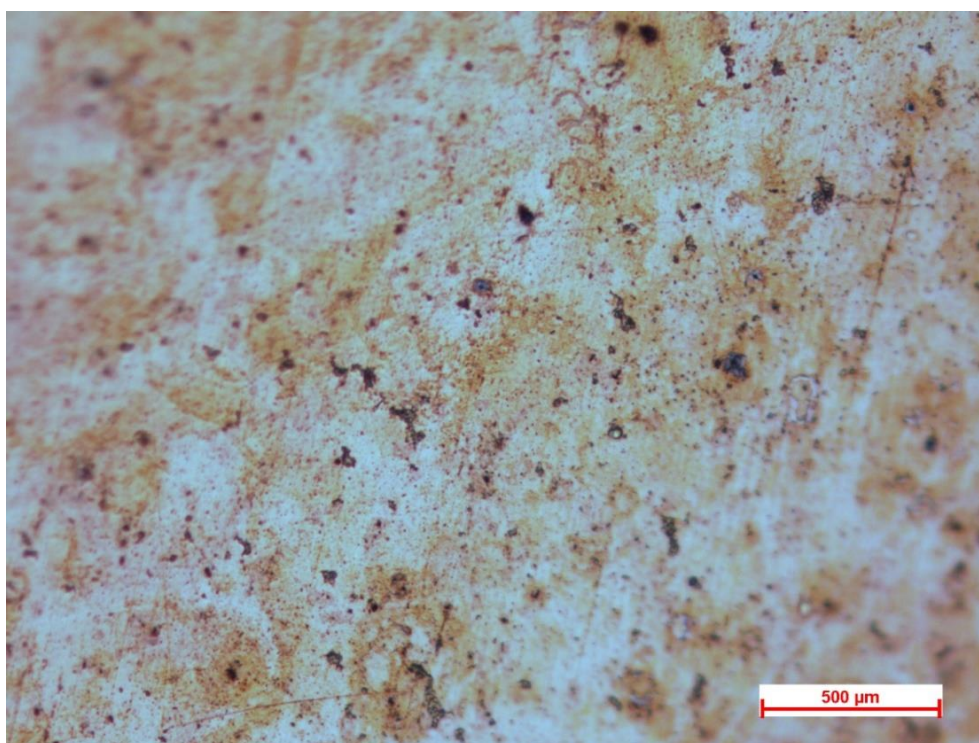


Obr.19: Pozlacená měď, zvětšení 200x

### 7.6.2 Pozlacená mosaz

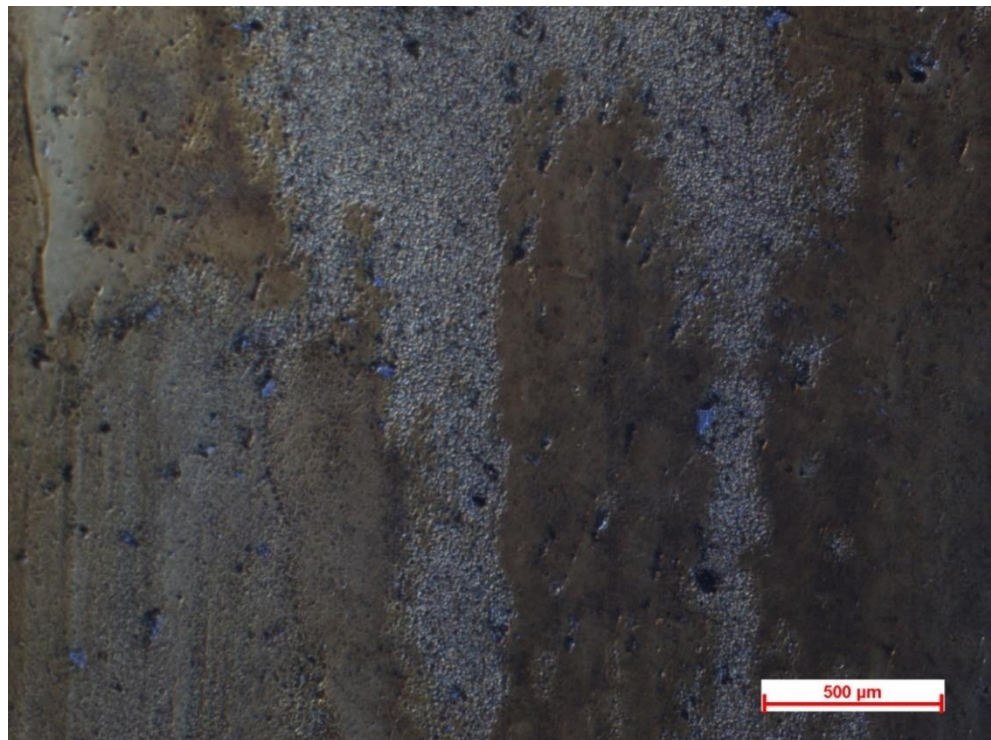


Obr.20: Pozlacená mosaz, zvětšení 25x

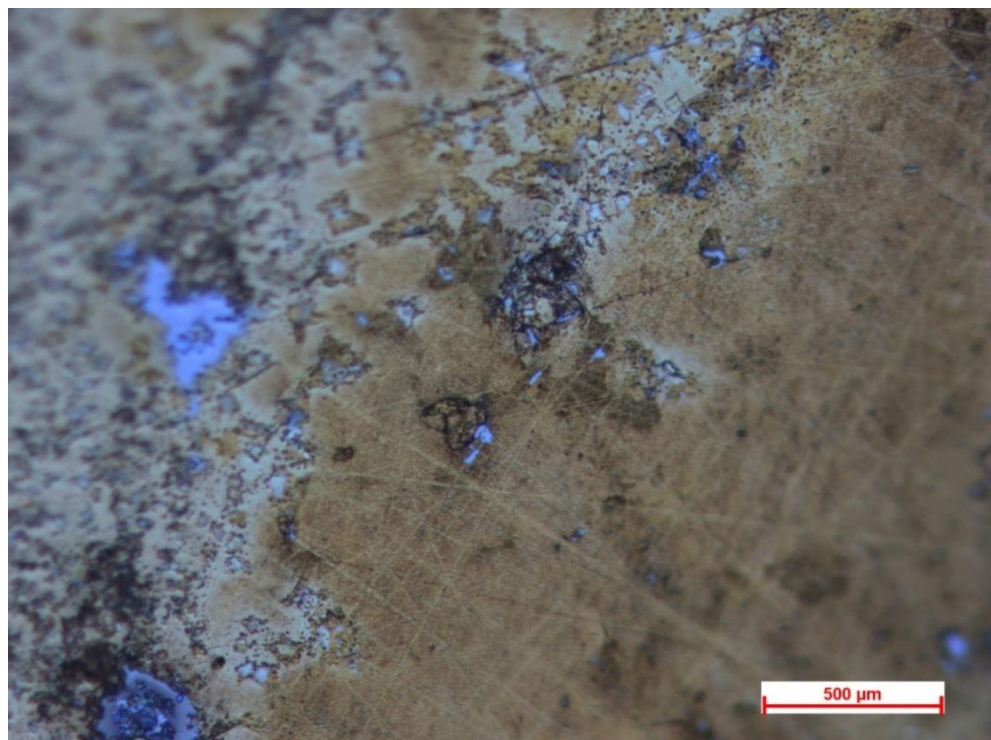


Obr.21: Pozlacená mosaz, zvětšení 200x

### 7.6.3 Pozlacená ocel AISI 304

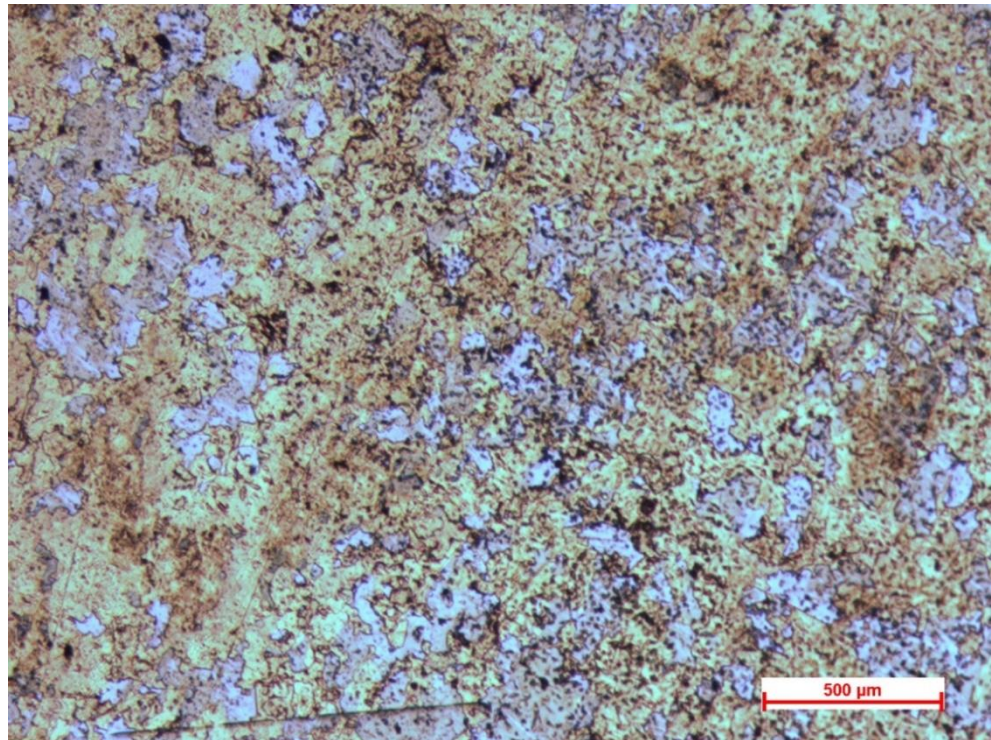


Obr.22: Pozlacená ocel AISI 304, zvětšení 25x

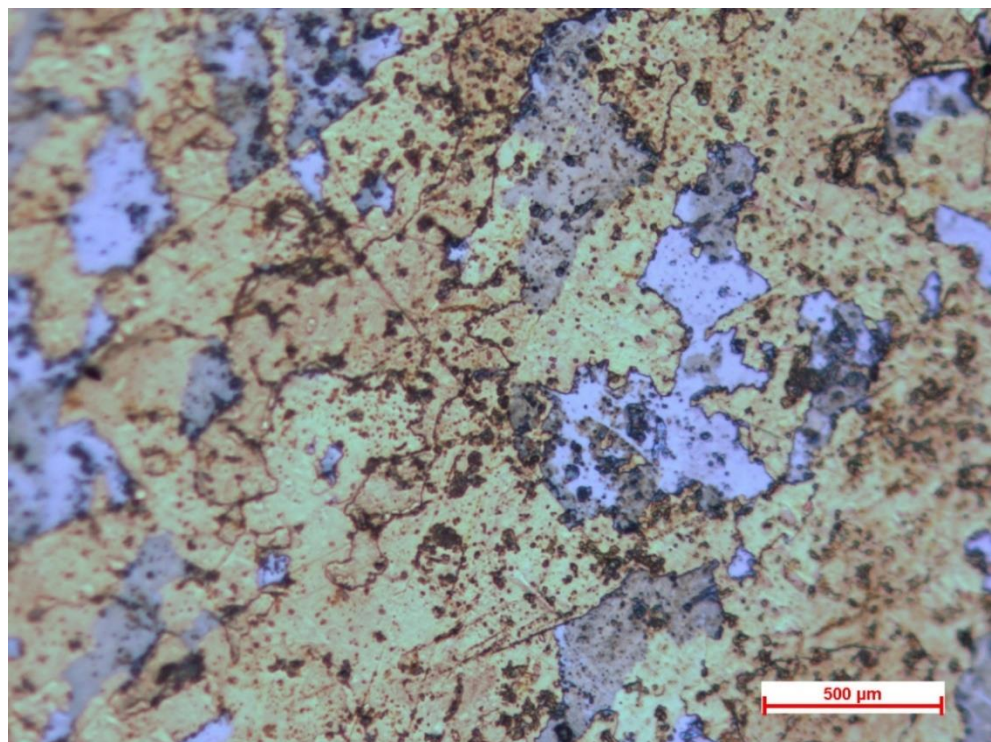


Obr.23: Pozlacená ocel AISI 304, zvětšení 200x

#### 7.6.4 Pozlacená ocel AISI 316L

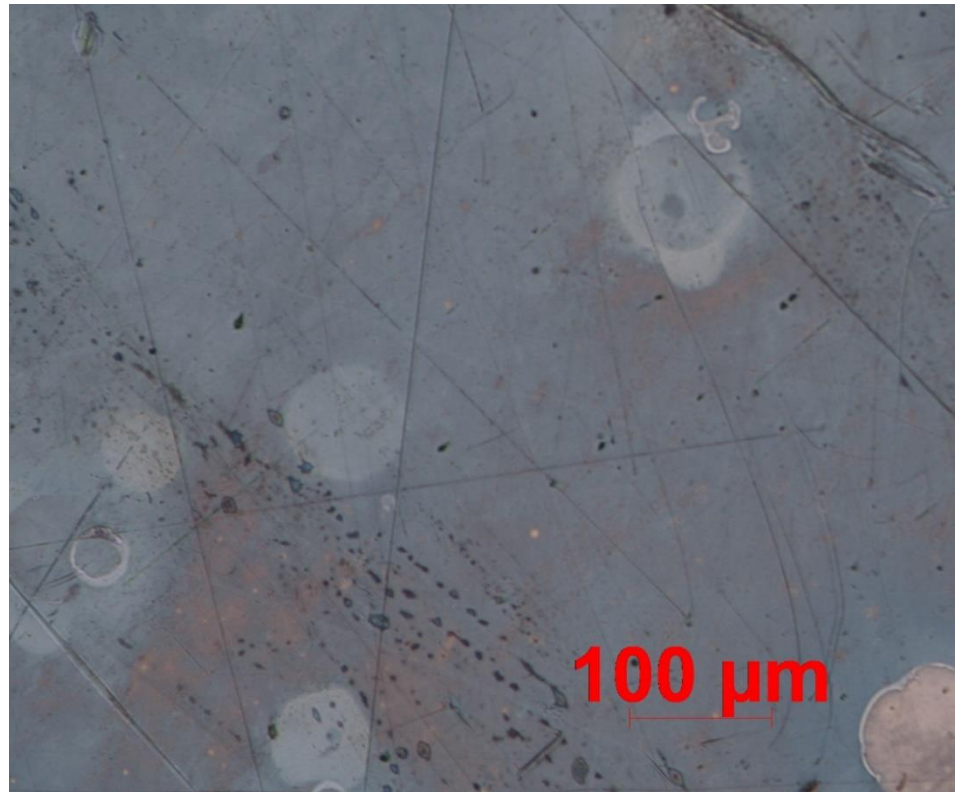


Obr.24: Pozlacená ocel AISI 316L, zvětšení 50x

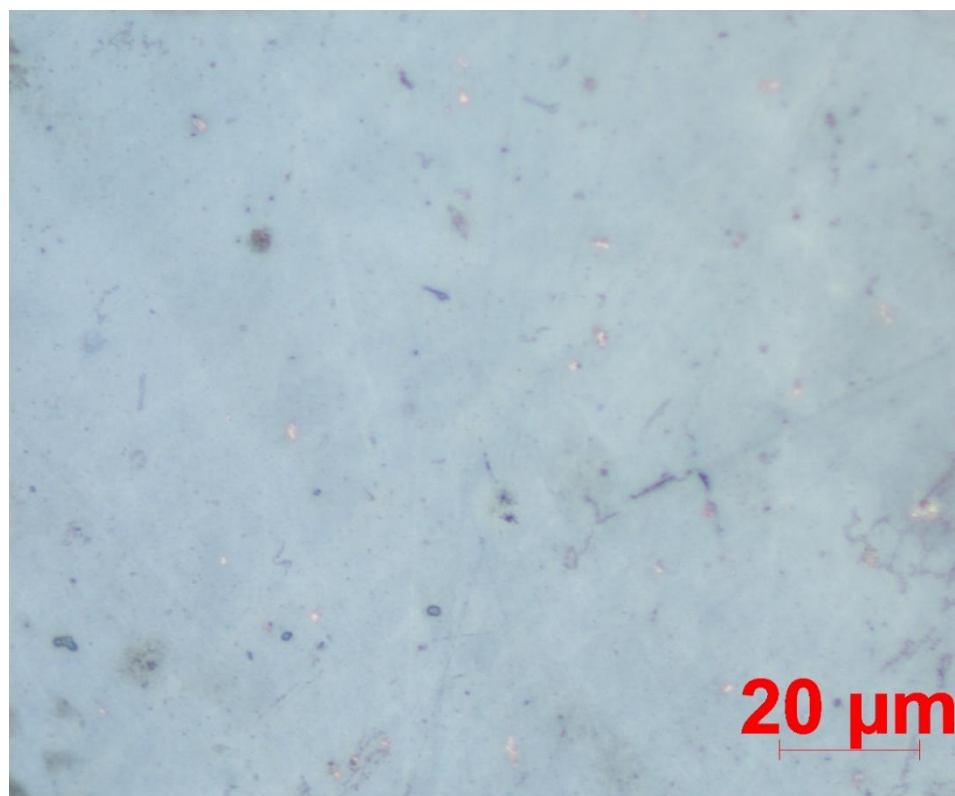


Obr.25: Pozlacená ocel AISI 316L, zvětšení 200x

## 6.6 Poniklovaná měď

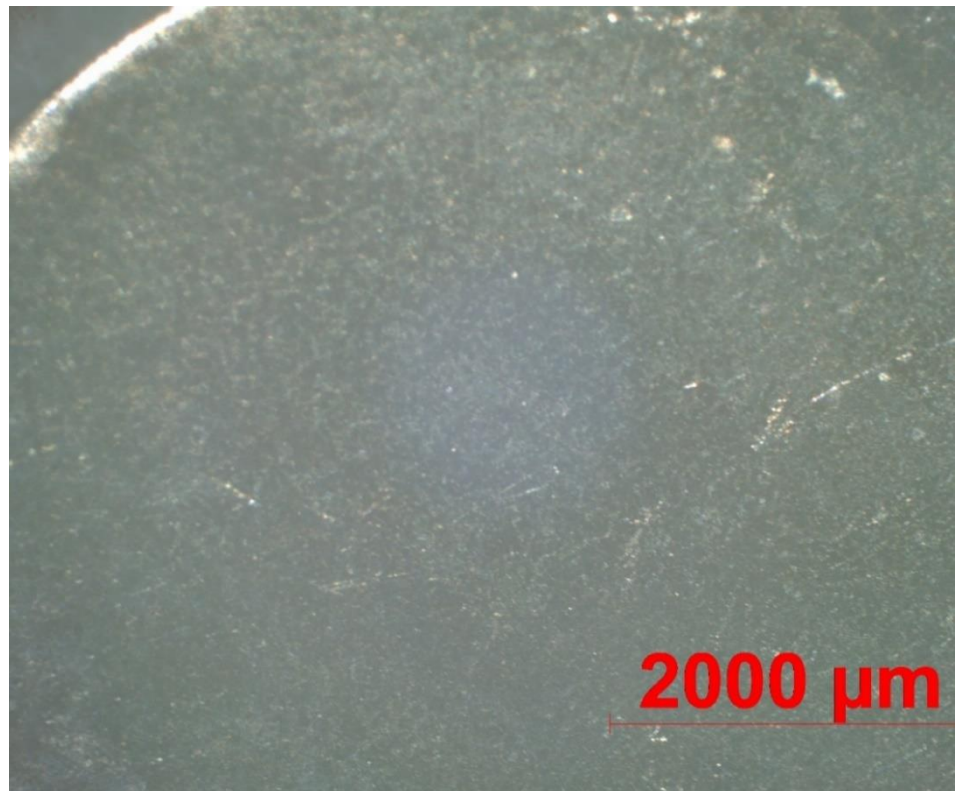


Obr.28: Poniklovaná měď, zvětšení 200x

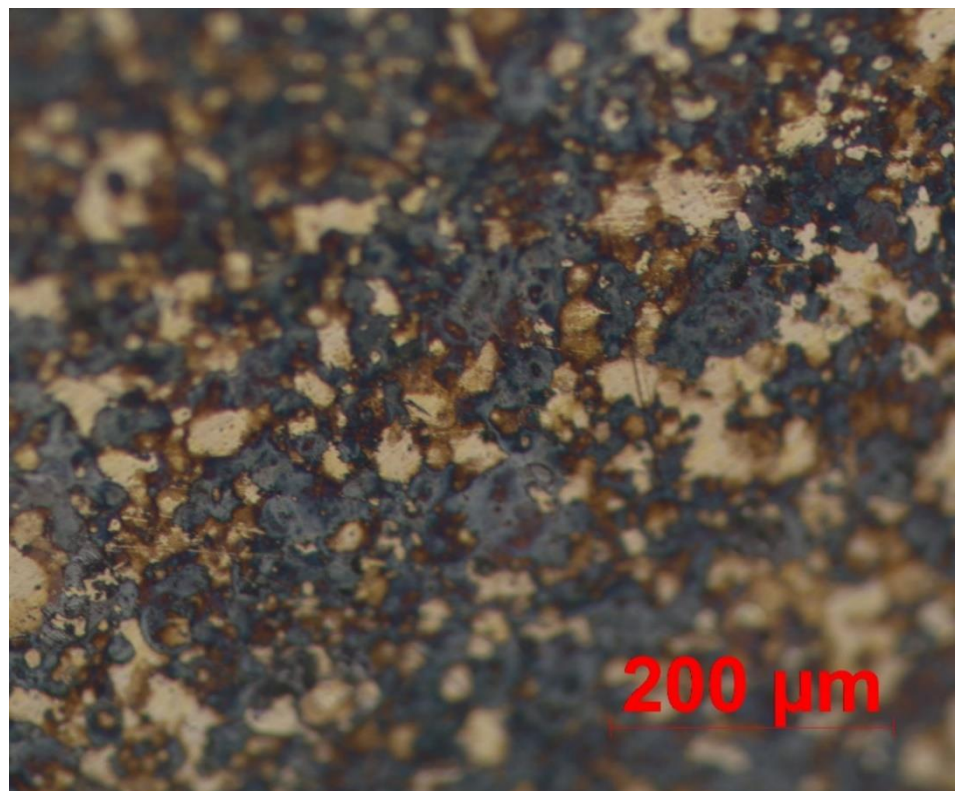


Obr.29: Poniklovaná měď, zvětšení 200x

### Poniklovaná mosaz



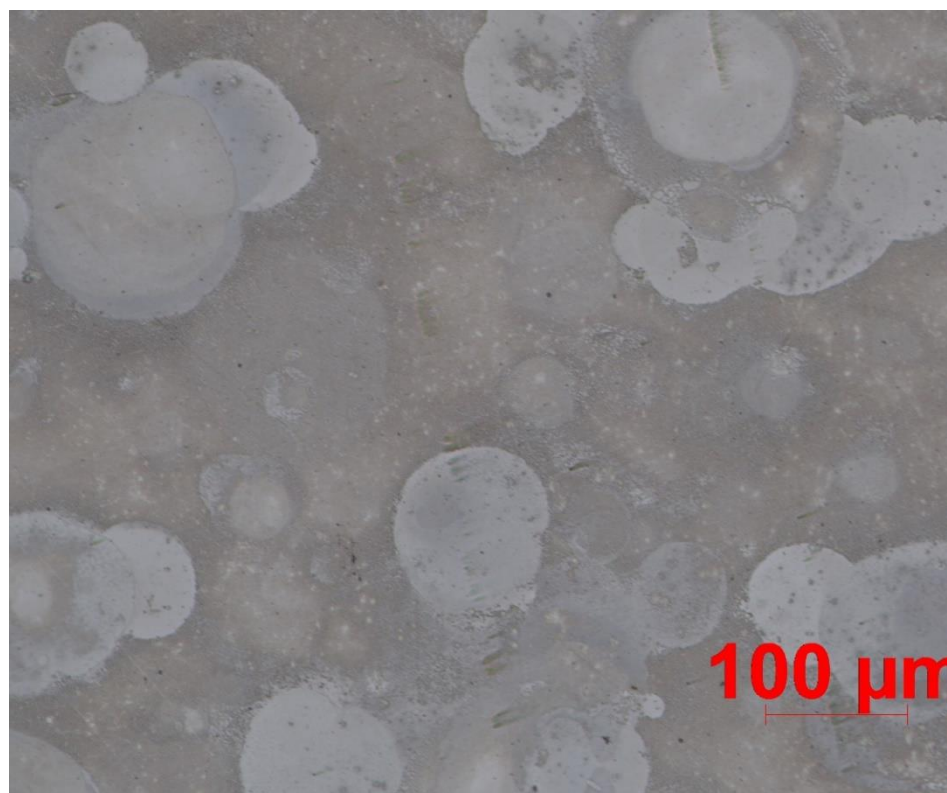
Obr.30: Poniklovaná mosaz, zvětšení 25x



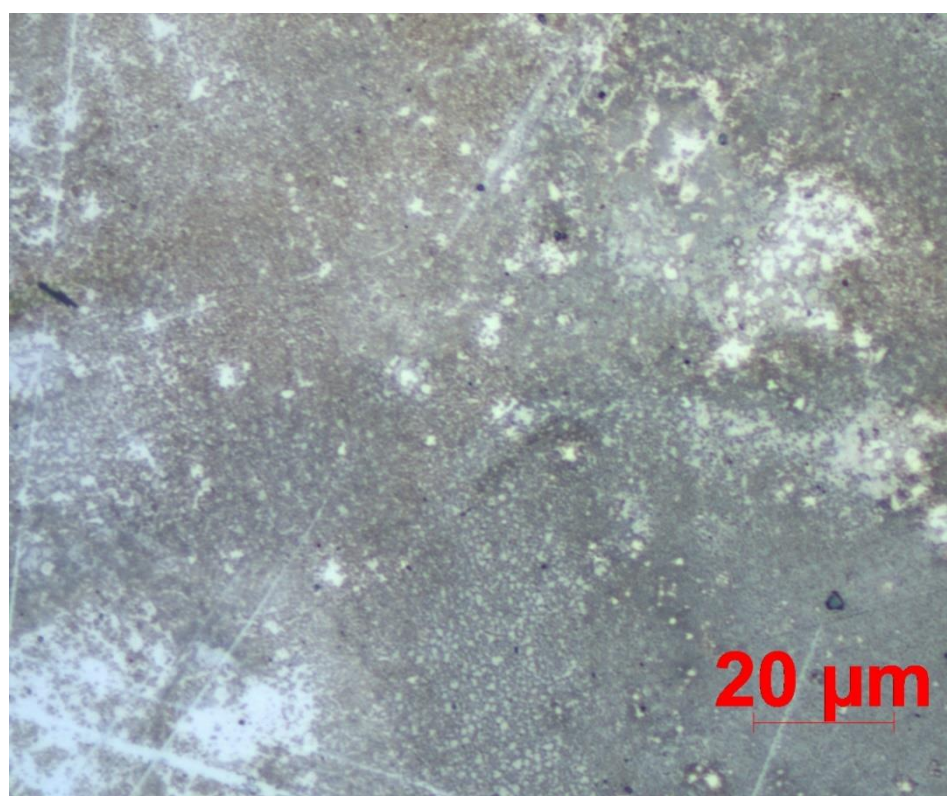
Obr.31: Poniklovaná mosaz, zvětšení 200x



### Poniklovaná ocel AISI 304

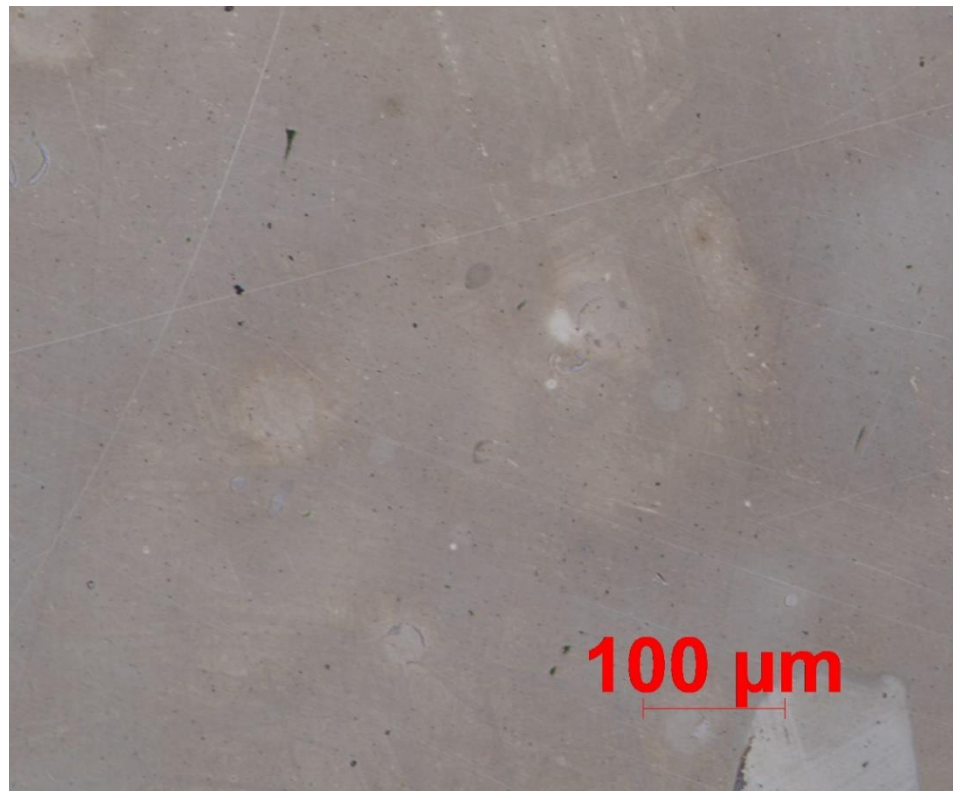


Obr.32: Poniklovaná ocel AISI 304, zvětšení 200x

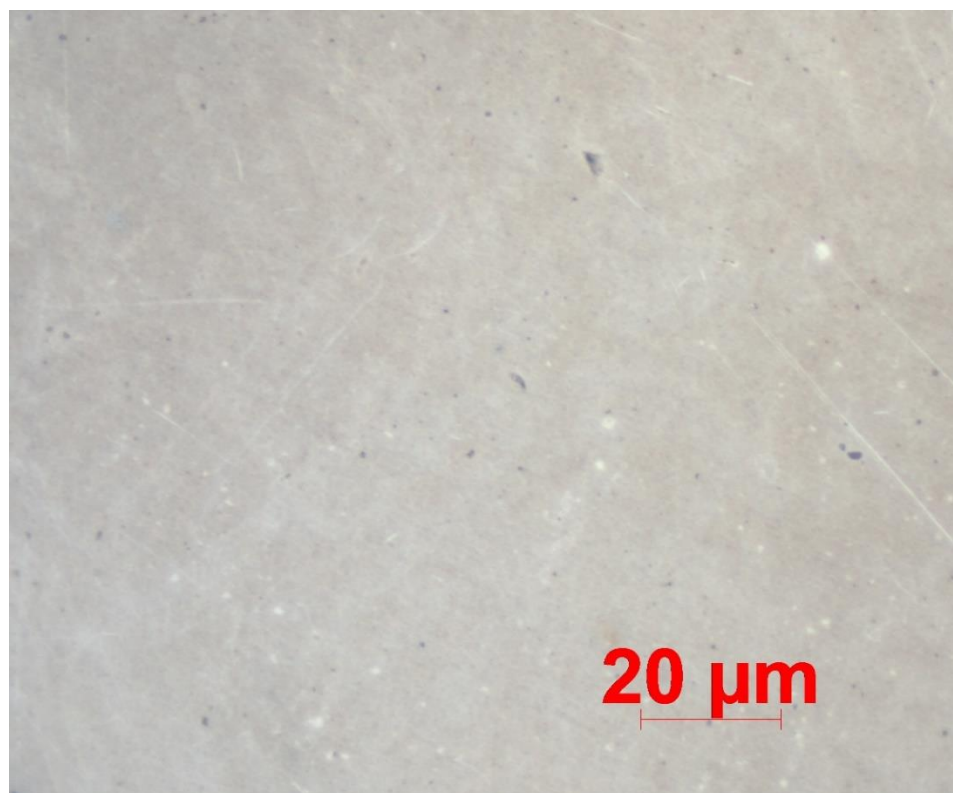


Obr.33: Poniklovaná ocel AISI 304, zvětšení 1000x

### Poniklovaná ocel AISI 316L



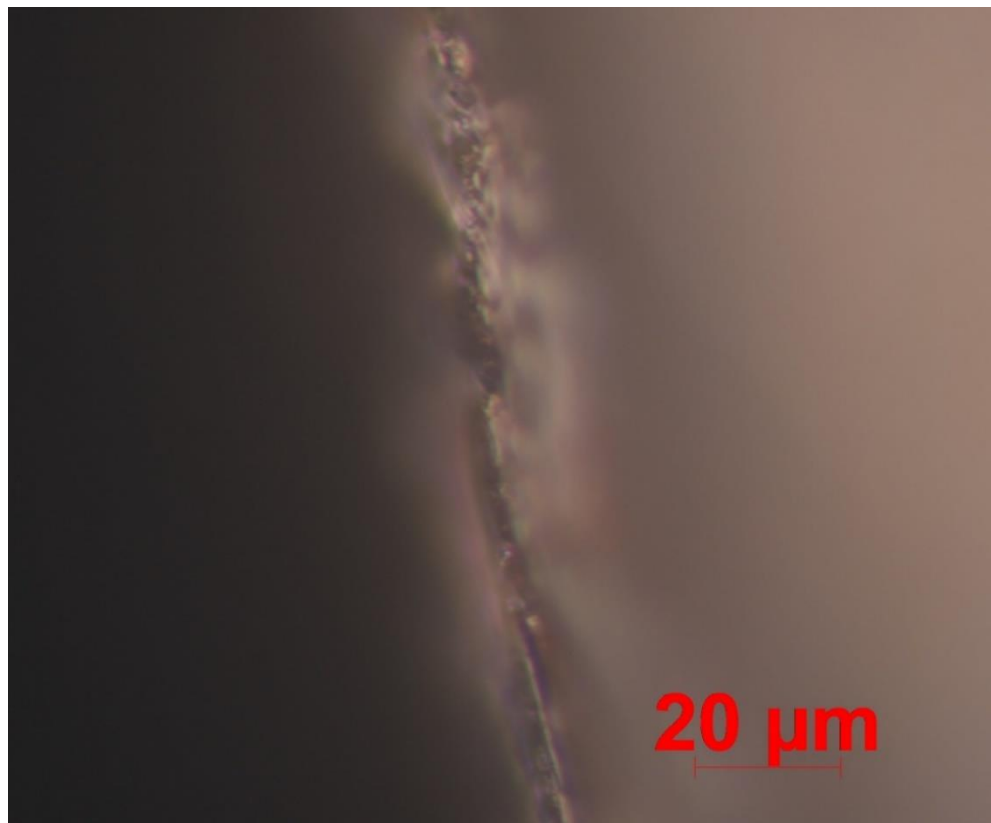
Obr.34: Poniklovaná ocel AISI 316L, zvětšení 200x



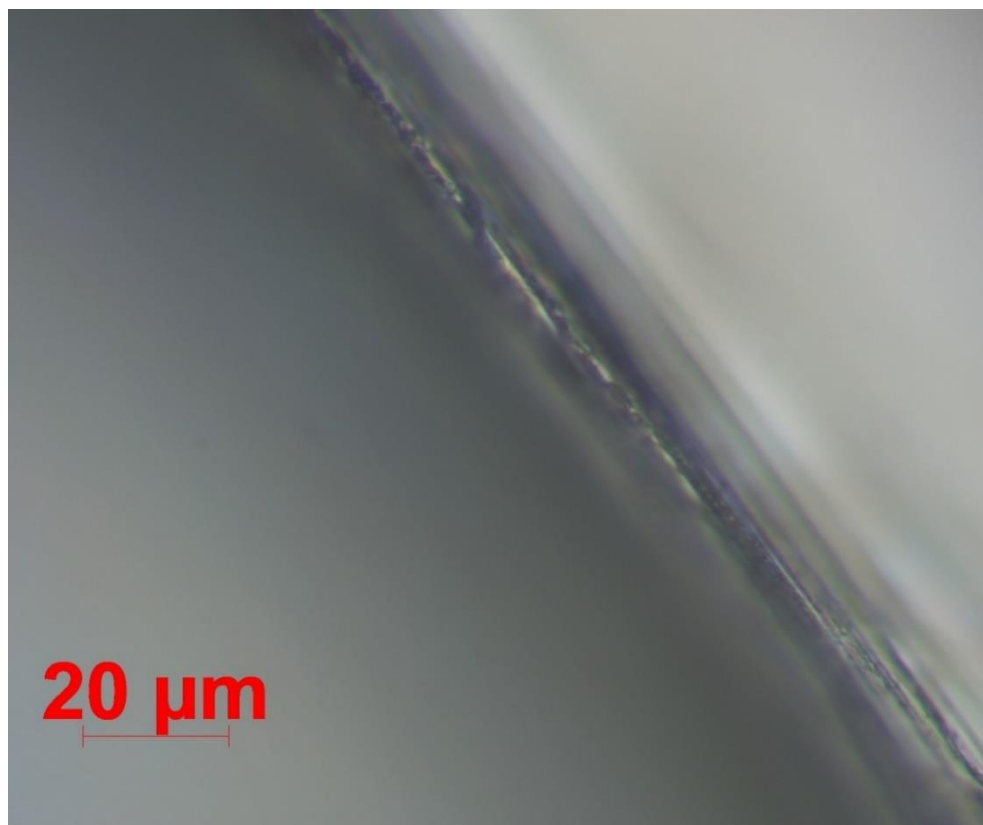
Obr.35: Poniklovaná ocel AISI 316L, zvětšení 1000x

### 7.6.6 Snímky průřezu vrstvou

Po pořízení snímků vzniklých vrstev byly 2 vzorky rozřezány na metalografické pile tak, aby bylo možné pozorovat vrstvu v průřezu. Byl vybrán vzorek pozlacené mědi a vzorek poniklované oceli AISI 316L. Oba materiály byly broušeny na metalografické brusce pomocí brusných papírů se zrnitostí 250 až 2500 a vyleštěny na metalografické leštičce. Následně bylo pořízeno několik snímků pokovených vrstev pomocí světelného mikroskopu.



Obr.38: Průřez vrstvou pozlacené mědi



**Obr.39: Průřez vrstvou poniklované oceli AISI 316L**

## 7.7 Hodnocení nanesených vrstev po světelné mikroskopii

Po správné přípravě povrchu na pokovení a nastavení parametrů galvanické lázně se povedlo nanést tenká vrstva zlata a niklu na všechny zkušební materiály. Vzniklá vrstva se na pohled pouhým okem zdá neporušená po celém povrchu. Je lesklá, trvalá a dobře přilnavá. Při zkoumání pod mikroskopem lze pozorovat, že vrstva je necelistvá. Vrstva je velmi tenká a na podélném průřezu vzorkem je na světelném mikroskopu špatně nepozorovatelná i při zvětšení 1000x.



Obr.40,41: Pozlacené materiály



Obr.42,43: Poniklované materiály

## 7.8 SEM a EDX analýza

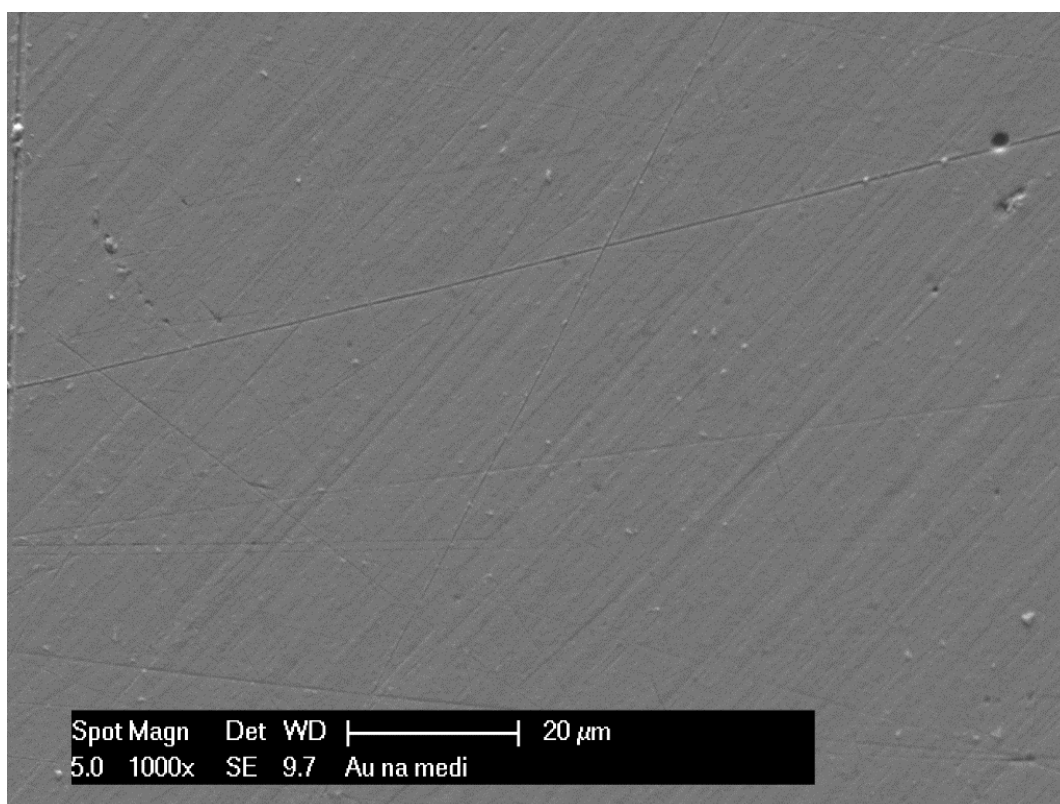
Pro detailnější vyhodnocení nanesených vrstev byla zvolena SEM a EDX analýza na rastrovacím elektronovém mikroskopu, která byla provedena na několika vzorcích.

Pomocí SEM neboli skenovací elektronové mikroskopie lze získat vysoké rozlišení povrchu vzorku, které je mnohokrát větší než při použití světelného mikroskopu. SEM využívá k vytvoření obrazů fokusovaný elektronový paprsek.

EDX analýza neboli energiově disperzní spektroskopie umožňuje získat chemické (prvkové) složení vzorku a jeho kvantitativní výsledek.

Pro SEM a EDX analýzu nanesené vrstvy byl zvolen vzorek pozlacené mědi, poniklované mědi, poniklované mosazi a dále příčný řez pozlacené oceli AISI 316L.

### Pozlacená měď



**Obr.44: SEM pozlacená měď – oblast analýzy**

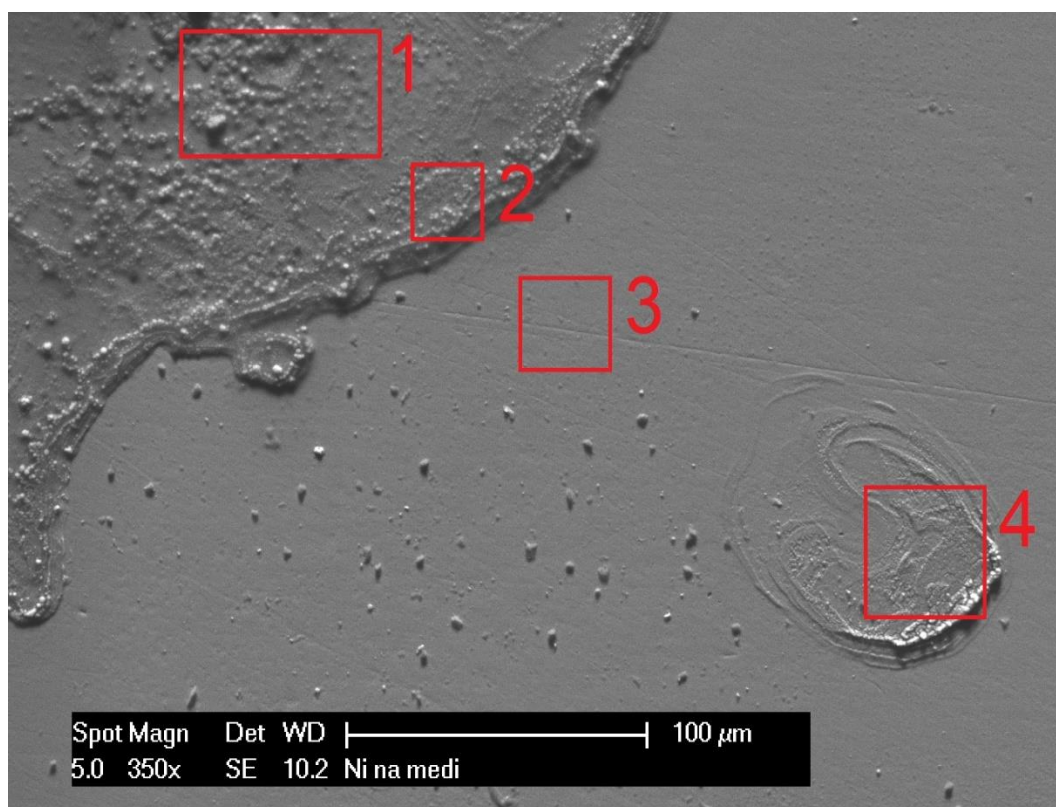
Chemická analýza pozlacené mědi vyšla podle očekávání, v oblasti, která je na snímku je 13,55 % zlata, a 86,45 % mědi. Povrch je homogenní, proto lze považovat tyto

výsledky chemického složení jako charakteristické pro celý nanesený povrch. Nejsou vidět změny tloušťky vrstvy, pouze jemné rýhy po broušení.

**Tab.4: EDX analýza pozlacené mědi**

Prvek	Množství ve vymezené oblasti
Au	13,55 %
Cu	86,45 %

### Poniklovaná měď



**Obr.45: SEM poniklovaná měď – oblast analýzy**

Ze snímků z SEM a chemické analýzy bylo zjištěno, že nanesená vrstva niklu na mědi je nehomogenní a necelistvá. Nerovnoměrná vrstva niklu se vytvořila pouze na okrajích vzorku, i když při pohledu pouhým okem vypadá, že je nanesena rovnoměrně. Na tomto vzorku bylo změřeno chemické složení na více místech, neboť některé oblasti podle výsledků neobsahují žádný nikl.

**Tab.5: EDX analýza poniklované mědi – oblast 1**

<b>Prvek</b>	<b>Množství ve vymezené oblasti</b>
S	0,68 %
Cu	85,78 %
Ni	8,38 %
Zn	5,17 %

**Tab.6: EDX analýza poniklované mědi – oblast 2**

<b>Prvek</b>	<b>Množství ve vymezené oblasti</b>
S	0,81 %
Cu	78,29 %
Ni	13,97 %
Zn	6,93 %

**Tab.7: EDX analýza poniklované mědi – oblast 3**

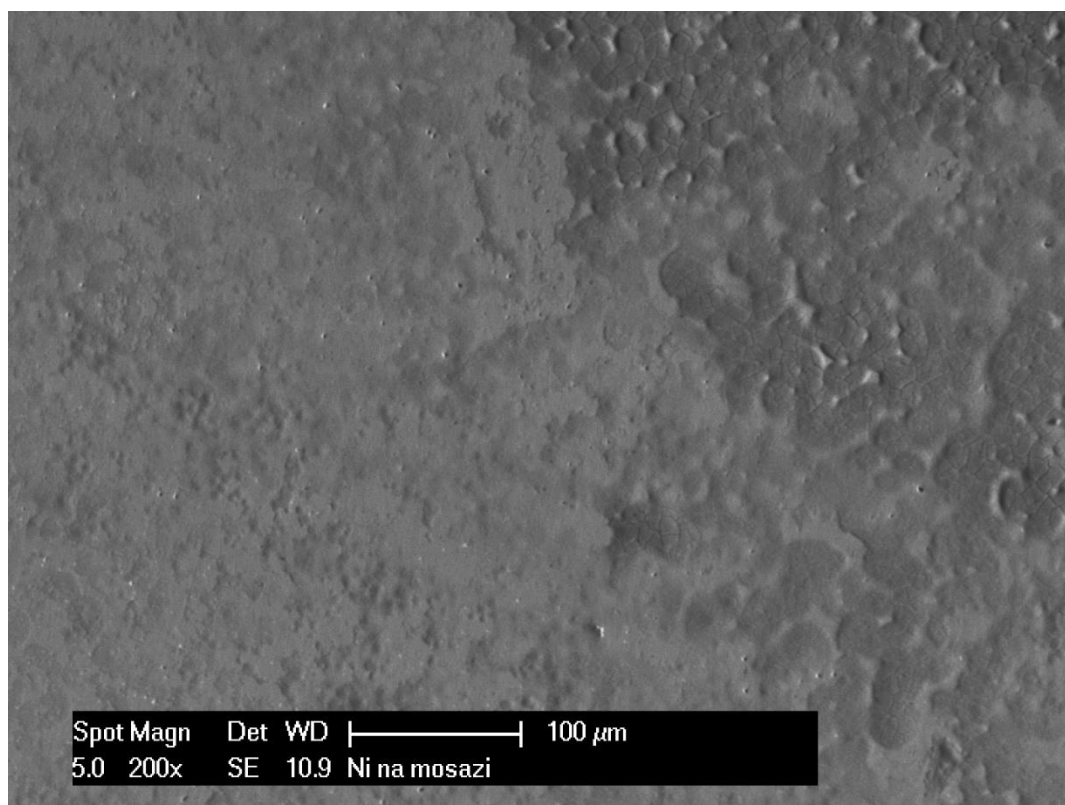
<b>Prvek</b>	<b>Množství ve vymezené oblasti</b>
Cu	92,84 %
Ni	1,30 %
Zn	5,86 %



**Tab.8: EDX analýza poniklované mědi – oblast 4**

Prvek	Množství ve vymezené oblasti
Cu	84,43 %
Ni	9,09 %
Zn	6,49 %

### Poniklovaná mosaz



**Obr.46: SEM poniklovaná mosaz – oblast analýzy**

Protože se ukázalo z předchozí analýzy, že se na mědi usadilo méně niklu, než se očekávalo, byla provedena stejná analýza také na vzorku poniklované mosazi. Na tomto vzorku vznikla vrstva více celistvá a homogenní, na některých místech je vrstva silnější. Podle analýzy prvkového složení se ve vybrané oblasti vyskytuje elektrolyticky nanesený nikl, složky slitiny mosazi – měď a zinek a v malém množství síra.

**Tab.9: EDX analýza poniklované mosazi**

<b>Prvek</b>	<b>Množství ve vymezené oblasti</b>
S	4,45 %
Cu	50,97 %
Ni	4,24 %
Zn	40,34 %

### **Řez pozlacenou ocelí AISI 316L**

Analýza řezu pozlacenou vrstvou oceli AISI 316L nebyla úspěšná, vrstva nebyla při zkoumání pomocí SEM pozorovatelná i chemická analýza prvků vyloučila přítomnost zlata. Toto mohlo být způsobeno necelistvostí vrstvy a malým obsahem naneseného zlata nebo vylomením zlaté vrstvy při broušení vzorku v příčném řezu.

## 7.9 Diskuse výsledků

Cílem praktické části bylo provést galvanické pokovení v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské metalurgie na Strojní fakultě Západočeské univerzity v Plzni.

Experimentální část se povedla podle očekávání. Byly vytvořeny metalografické výbrusy ze čtyř materiálů. Následně byla zkoušena různá leptadla. Po několika pokusech se povedlo naleptat všechny vzorky. Použitá leptadla jsou uvedena v tabulce č. 1. Následně byly pozorovány a popsány mikrostruktury uvedených materiálů. Pro pořízení snímků mikrostruktury byl použit světelný mikroskop, mikrostruktura mědi obsahuje zrna alfa mědi a lze na ní pozorovat dvojčata. U mosazi jsou vidět alfa a beta fáze, struktura oceli AISI 304 je z austenitických a martenzitických zrn s feritickými pásy a ocel AISI 316L se skládá z austenitických zrn s viditelnými pory.

Po sestavení aparatury pro galvanické pokovení, nalití elektrolytu pro zlcení do nádoby a připojení stejnosměrného proudu proběhla elektrolýza a na katodě vznikl zlatý film. Byl změřen čas pokovení a zaznamenána hodnota napětí a proudu. Měď a mosaz se podařilo pozlatit bez nutnosti moření. Ocel AISI 304, 316 a 316L bylo potřeba nejdříve namořit. Byl vyzkoušen roztok HCl s ethanolem v poměru 1:1. Pokus byl však neúspěšný. Jako další mořidlo byl zvolen roztok HCl a destilovanou vodou v poměru 1:1. Několika minutové ponoření vzorků do tohoto roztoku bylo dostačující pro úspěšné pokovení zlatem.

Následovalo galvanické pokovení niklem. Byla použita stejná aparatura, pouze byl vyměněn elektrolyt a podle doporučení nastaveny vyšší hodnoty napětí. Vrstva niklu ulpívá na všech připravených vzorcích bez potřeby jejich moření.

Všechny vzorky byly váženy před a po pokovení tak, aby bylo možné určit hmotnost nanesené vrstvy. Tyto výsledky však byly nevyhovující, což je přisuzováno buďto neměřitelně malé tloušťce vrstvy nebo špatné kalibraci analytické váhy.

Výsledné vrstvy byly pozorovány světelným mikroskopem se zvětšením od 25x do 500x a byly pořízeny jejich snímky.

Následně byl vzorek pozlacené mědi a poniklované oceli AISI 316L příčně rozříznut a vytvořen metalografický výbrus, tak aby bylo možné pozorovat vzniklé vrstvy

v příčném řezu. Vrstva byla špatně pozorovatelná, i při zvětšení 1000x, kvůli její malé tloušťce.

Nanesená vrstva zlata i niklu vypadá při zkoumání pouhým okem hezky lesklá s po celém povrchu rovnoměrná. Při pozorování mikroskopem je viditelné, že vrstva není celistvá a prosvítají místa původního kovu vzorku.

Byla provedena analýza SEM a EDX pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu. Výsledky chemického rozboru nanesených vrstev ukázaly, že nanesená vrstva zlata je více homogenní, rovnoměrná a celistvější nežli vrstva niklu, která se u některých vzorků usadila pouze v některých oblastech a nerovnoměrně. Byla provedena EDX analýza také na příčném řezu vzorku pozlacené oceli AISI 316L, ta však ukázala absenci zlata, nejspíše kvůli vylomení vrstvy při přípravě příčného řezu.

## 8 Závěr

V teoretické části této bakalářské práce byly uvedeny obecné informace o pokovení. Dále byla shrnuta podstata galvanického pokovení a elektrolyzy a několik stran bylo věnováno nejčastějším metodám používaných pro nanesení vrstvy kovu na šperk. Nejčastějšími metodami jsou zlacení, stříbření a rhodiování. V této části byly také popsány používané drahé kovy, jejich vlastnosti a použití.

Experimentální část se povedla podle očekávání, byly splněny všechny úkoly. U mědi, mosazi a oceli AISI 304 a AISI 316L byly zhotoveny metalografické výbrusy. Bylo vybráno vhodné leptadlo a vzorky byly naleptány tak, aby mohla být pozorována mikrostruktura materiálů a vyfoceny její snímky. Byla sestavena galvanická lázeň, charakterizovány použité elektrolyty, nastaveny správné parametry pokovovací lázně a všechny vzorky byly úspěšně pokoveny vrstvou zlata a niklu. Nanesené vrstvy byly zdokumentovány a byla vyhodnocena jejich kvalita.

Cíl bakalářské práce byl úspěšně splněn, v teoretické části byly shrnuty všechny potřebné informace pro provedení experimentu, při kterém bylo provedeno galvanické pokovení několika materiálů zlatem a niklem.

## Použité zdroje

[1] SKOROCKÁ, Eliška. *Sada prstenů-varianta s magnetem* [online]. Liberec, 2013 [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: [file:///C:/Users/BeMa/Downloads/V\\_11113\\_Tb.pdf](file:///C:/Users/BeMa/Downloads/V_11113_Tb.pdf). Bakalářská práce. Technická universita v Liberci.

[2] CETL, Tomáš. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02859.

[3] ČERNOCH, Svatopluk. Galvanické pokovování. *Strojně technická příručka*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968, s. 2369-2370.

[4] ČERNÁ, Barbora. Co chrání vaše šperky. *Perfect-shop.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://www.perfect-shop.cz/sperky-stibro-co-chrani-vase-sperky>

[5] HORBACZEWSKI, Jan. Chemie lékařská. *Chemie lékařská: chemie anorganická*. Praha, Univerzita Karlova: Nakladatelství Karolinum, 2019, s. 213-214. ISBN 978-80-246-4344-1.

[6] MALIJEVSKY, Anatol. *Breviář z fyzikální chemie*. Praha: VŠCHT Praha, 2000. ISBN 80-7080-403-3.

[7] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2000. ISBN 80-7082-668-1.

[8] TURNOVEC, Ivan. *Zlato bez DPH: Vše o zlatě, stříbře a platině* [online]. Havířov [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.zlatobezdph.cz/vse-o-zlate-stibre-a-platine>

[9] Chemie.de: Gold [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.chemie.de/lexikon/Gold.html>

[10] Prvky.com: Zlato [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/79.html>

[11] Povrchová úprava kovů: Zlacení. *Vzdělávání irikfer.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://www.vzdelavaniirikfer.cz/povrchova-uprava-kovu/pozlacovani-a-zlacení-kovovych-vyrobku>

[12] Šperky Klenota: *Není zlato jako zlato aneb Rozdíl mezi zlatem a (po)zlacením* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z:

<https://www.klenota.cz/Blog/Sperky-KLENOTA/Neni-zlato-jako-zlato-aneb-Rozdil-mezi-zlatem-a-po-zlacenim>

[13] *Věda o znalostech: Zlacení s stříbřením část I* [online]. 2015 [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <http://magma-metale.pl/cs/procesy/zlocenie-i-srebrzenie-ogniowe-cz-1/>

[14] *Newkitty.ru: Umělecké zlacení doma* [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: <https://newkitty.ru/cs/hudozhestvennoe-zolochenie-v-domashnih-usloviyah-zolochenie-v-domashnih/>

[16] STWERTKA, Albert. *A Guide to the elements*. New York: Oxford university press, 2012. ISBN 9780199832521.

[17] HASHMI, Saleem, ed. *Comprehensive Materials Processing* [online]. 2014 [cit. 2022-03-16]. ISBN 9780080965338.

[18] ZHANG, Bangwei, ed. *Amorphous and Nano Alloys Electroless Depositions* [online]. Elsevier, 2015 [cit. 2022-03-16]. ISBN 9780128027066

[19] Periodická tabulka: Rhodium. *Www.prvky.com* [online]. [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/45.html>

[20] Historie chemie: rhodium. *Ped.muni.cz* [online]. 2014 [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/chemlat/rhodium.html>

[21] BRANIŠ, Antonín. *Materiály pro zlatníky a klenotníky*. Praha: SPN, 1992. ISBN 80-04-26306-2..

[22] TĀUBL, Karel. *Zlatnictví, stříbrnictví a klenotnictví*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1989, 162 s., [5] s. obr. příl. Polytechnická knihnice, sv. 103. ISBN 80-030-0130-7. Str. 86

[23] Technické zajímavosti: Rhodiování snubních prstenů. *Technické-zajímavosti.blogspot.com* [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://technicke-zajimavosti.blogspot.com/2014/08/proniknete-hlouběji-do-světa-rhodiování.html>

[24] Co je torhodium, rhodiování a rhodiované šperky. *Klenota.cz*[online]. 2019 [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.klenota.cz/Blog/Sperky-KLENOTA/Co-je-to-rhodium-rhodiování-a-rhodiovane-sperky>

## Obrázky

[obr.1] In: *Wikipedia.org* [online]. 2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: Elektrolýza. In: *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrol%C3%BDza>

[obr.2] Čisté rhodium. In: *Technické-zajímavosti.blogspot.com* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://technicke-zajimavosti.blogspot.com/2014/08/proniknete-hlouběji-do-světa-rhodiování.html>

[obr.3] Rh cena. In: *Kitco.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <http://www.kitco.cz/rubriky/rhodium/>

[obr.4] Platinové kovy. In: *Is.muni.cz* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/jaro2005/C2442/skripta/kapitola2301.html>

[obr.5] Galvanické pokovování. *Materiály pro zlatníky a klenotníky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, s. 76-77. ISBN 80-4-26306-2.

[obr.6] Galvanické pokovování. *Materiály pro zlatníky a klenotníky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, s. 76-77. ISBN 80-4-26306-2.

[obr.7] Elektrolýza. In: *Wikipedia.org* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrol%C3%BDza>

[obr.8] Zlacení. In: *Wikipedia.org* [online]. 2019 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zlacen%C3%AD>

[obr.9.1] Silver-plating copper, ANAND, Belendu. In: *Tutorix* [online]. 2021 [cit. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://www.tutorix.com/question/37817/for-the-electroplating-of-silver-on-a-copper-spoon-which-electrode-is-chosen-for-silver-and-which-one-for-copper-also-gi>

[obr.9] Rhodium plating. In: *Mark loyd jewellery.co.uk* [online]. 2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.markloydjewellery.co.uk/product/rhodium-plating-voucher/>

[obr.10] Opravy šperků: rhodiování. In: *Zlatnictvineskudla.cz* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://www.zlatnictvineskudla.cz/opravy>