

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta materiálově – technologická  
Katedra materiálového inženýrství

## **Bakalářská práce**

Strukturně fázová analýza kobaltové slitiny typu stellite  
Structure and phase analysis of a cobalt alloy of the stellite type

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta materiálově-technologická  
Katedra materiálového inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Mrázek**  
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství  
Studijní obor: 3911R036 Progresivní technické materiály  
Téma: **Strukturně fázová analýza kobaltové slitiny typu stellite**  
**Structure and phase analysis of a cobalt alloy of the stellite type**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika kobaltu, výroba.
2. Kobaltové slitiny, rozdělení, struktura, vlastnosti.
3. Praktické aplikace kobaltových slitin.
4. Kobaltové superslitiny typu stellite.
5. Strukturně fázový rozbor stellite.

Seznam doporučené odborné literatury:


1. JONŠTA, Z. Materiály pro speciální použití. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013. Dostupné z: [http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory\\_FMMI/636/636-MSP.pdf](http://katedry.fmmi.vsb.cz/Opory_FMMI/636/636-MSP.pdf).
2. MAZANEC, K. Materiálově inženýrské charakteristiky vybraných typů materiálů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994.
3. HERNAS, A., et al. Žárupevné oceli a slitiny. 2. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2187-0.
4. DONACHIE, M.J. and S.J. DONACHIE. Superalloys: a technical guide. 2nd ed. Materials Park Ohio: ASM International, 2002. ISBN-13: 978-0-87170-749-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Vlastimil Vodárek, CSc.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Titulní list  | 6. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |
| 2. Originál zadání BP  | 7. Obsah BP                                  |
| 3. Zásady pro vypracování BP                                       | 8. Textová část BP                           |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení                           | 9. Seznam použité literatury                 |
| 5. Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby | 10. Přílohy                                  |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP.

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP.

ad 5) V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právnickými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 6) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 7) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 8) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 10).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 9) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 10) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta materiálůvě - technologická*  
*Katedra .....*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*


dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty materiálůvě – technologické, Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2018/2019.

Ostrava 12. 11. 2018

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
Děkanka Fakulty materiálůvě – technologické  
VŠB-TU Ostrava



# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě .....  
29.4.2019

..... Jan Munk .....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

# **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je věnována strukturně fázové analýze kobaltové slitiny typu stelit. Teoretická část je zaměřena na charakteristiku kobaltu a jeho výrobu, kobaltové slitiny, jejich strukturu, rozdělení, vlastnosti, praktické využití a kobaltové superslitiny typu stelit s jejími vlastnostmi a využitím. V praktické části jsou uvedeny výsledky strukturně fázového rozboru stelitu, který byl prováděn na vzorku kobaltové slitiny typu stelit. Byla vyhotovena strukturní analýza, při které bylo zkoumáno chemické složení, analýza plynů O, N a metalografický rozbor na leštěném výbruse po elektrolytickém leptání v roztoku a nakonec fázová analýza.

## **Klíčová slova**

Kobalt, stelit, kobaltové slitiny a superslitiny, strukturně fázová analýza

# **ABSTRACT**

This bachelor thesis is devoted to structure and phase analysis of a cobalt alloy of the stellite type. The theoretical part is focused on the characteristics of cobalt and its production, cobalt alloys, their structure, distribution, properties, cobalt superalloys and their properties. In the practical part are presented the results of the structural phase analysis of the stellite, which was performed on a sample of cobalt base alloy stellite. Structural analysis was carried out, in which the chemical composition, the analysis of the O, N and the metallographic analysis on the polished section after the electrolytic etching in solution, and finally the phase analysis were examined.

## **Keywords**

Cobalt, stellite, cobalt alloys and superalloys, structural phase analysis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří prof. Ing. Zdeňku Jonšovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost při konzultacích, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

# Obsah

Úvod .....	9
1 Kobalt .....	10
1.1 Historie .....	10
1.2 Chemické vlastnosti .....	11
1.3 Fyzikální vlastnosti .....	11
1.4 Výskyt v přírodě .....	12
1.5 Biogenní vlastnosti .....	12
1.6 Země produkující kobalt .....	13
1.7 Výroba .....	14
1.7.1 Hydrometalurgická výroba .....	14
1.7.2 Pyrometalurgická výroba .....	16
1.7.3 Vedlejší produkt z výroby jiných kovů .....	16
1.8 Použití .....	16
2 Kobaltové slitiny .....	17
2.1 Rozdělení .....	17
2.1.1 Odolné proti opotřebení .....	17
2.1.2 Odolné vůči vysokým teplotám .....	18
2.1.2.1 Vliv legujících prvků .....	19
2.1.3 Odolné vůči korozi .....	21
2.1.4 S elektromagnetickými vlastnostmi .....	21
2.1.5 Biokompatibilní .....	21
3 Praktické aplikace kobaltových slitin .....	22
4 Kobaltové superslitiny typu stelit .....	23
4.1 Historie .....	23
4.2 Vlastnosti a použití .....	24
5 Strukturně fázový rozbor stelitu .....	28
5.1 Materiál a experimentální technika .....	28
5.2 Výsledky .....	29
5.2.1 Chemické složení .....	29
5.2.2 Strukturně fázová analýza .....	30
Závěr .....	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	36



# Úvod

Kobalt, ačkoliv byl znám ve formě různých sloučenin už od dob starověku, nabyl svého potenciálu až s rozvojem novodobé metalurgie a strojírenství na začátku 20. století. Vyskytuje se v mnoha slitinách, především ve stelitech, které jsou významné pro své využití v extrémních podmínkách, protože mají vysokou žárupevnost, korozivzdornost a odolnost vůči opotřebení. Mají rozmanité použití. Nalezneme je jak v obráběcích nástrojích, sklářských nástrojích, turbínách, tak i v kyčelních kloubech.

Teoretická část práce je zaměřena na obecný popis kobaltu jako chemického prvku, popis jeho získávání a použití nejen ve stelitech, ale například také v bateriích, čímž se stal strategicky významným prvkem. Smyslem této části je seznámení s kobaltovými slitinami, primárně se superslitinou typu stelit. V čemž spočívá popis jejich vlastností, použití, složení a struktury.

Cílem praktické části bylo provedení strukturně fázové analýzy kobaltové super slitiny typu stelit. Bylo zjišťováno chemické složení materiálu, obsah plynů O, N, přítomnost daných fází a jejich složení. Vzorek byl ve výchozím stavu. Zkoumaná slitina nachází využití při výrobě sklené vaty.

# 1 Kobalt

Kobalt, nesoucí chemickou značku Co, latinsky cobaltum, se v periodické tabulce prvků nachází ve čtvrté periodě a VIII. B skupině. Je to namodralý, stříbrolesklý, tvrdý, feromagnetický kov (Obr. 1). Zvyšuje magnetické sycení železa. Patří mezi těžké neželezné kovy. Považuje se za strategicky významný prvek [1].



Obr. 1 - Kobalt jako čistý kov [2]

## 1.1 Historie

Používán již ve starověkém Egyptě kolem roku 2600 př. n. l. ve formě sloučenin k barvení glazur. Slovo kobalt je původem z šestnáctého století z německého termínu kobold, což znamená goblin (skřet) nebo zlý duch. Roku 1735 objevil a izoloval kobalt jako čistý kov švédský chemik a minearolog Georg Brandt [1, 3].

## 1.2 Chemické vlastnosti

Elektronová konfigurace kobaltu je  $[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$ . Vůči vodíku a dusíku je inertní. Je dobře rozpustný ve zředěné kyselině dusičné, v koncentrované však rozpustný není. Při zahřátí oxiduje na  $\text{Co}_3\text{O}_4$  a za teploty vyšší než  $900\text{ }^\circ\text{C}$  vzniká  $\text{CoO}$ . Za zvýšené teploty reaguje s halovými prvky, borem, uhlíkem, kyslíkem, arsenem, sírou. Tvoří komplexní sloučeniny [1].

## 1.3 Fyzikální vlastnosti

Výčet základních fyzikálních vlastností kobaltu je vypsán níže (Tab. 1).

Tab. 1 - Fyzikální vlastnosti [4]

Atomové číslo	27
Molární hmotnost	$58,93\text{ g}\cdot\text{mol}^{-3}$
Krystalová struktura	$\epsilon$ - Co do $421\text{ }^\circ\text{C}$ HTU (HCP), $\alpha$ - Co nad $421\text{ }^\circ\text{C}$ KPC (FCC)
Teplota tání	$1495\text{ }^\circ\text{C}$
Teplota varu	$2927\text{ }^\circ\text{C}$
Hustota při $20\text{ }^\circ\text{C}$	$8,85\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Skupenské teplo tání při $20\text{ }^\circ\text{C}$	$16,06\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
Molární tepelná kapacita při $20\text{ }^\circ\text{C}$	$24,81\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Tvrдость podle Vickerse	253
Tvrдость podle Mohse	5
Elektrická vodivost	$1,7\cdot 10^7\text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
Elektrický odpor při $20\text{ }^\circ\text{C}$	$52,2\text{ n}\Omega$
Tepelná vodivost $20\text{ }^\circ\text{C}$	$69,04\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Mez pevnosti v tahu	800 až 875 MPa
Modul pružnosti v tahu	211 GPa
Modul pružnosti ve smyku	82 GPa
Curieova teplota	$1121\text{ }^\circ\text{C}$
Koercitivní síla	$708\text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$
Elektronegativita	1,88

## 1.4 Výskyt v přírodě

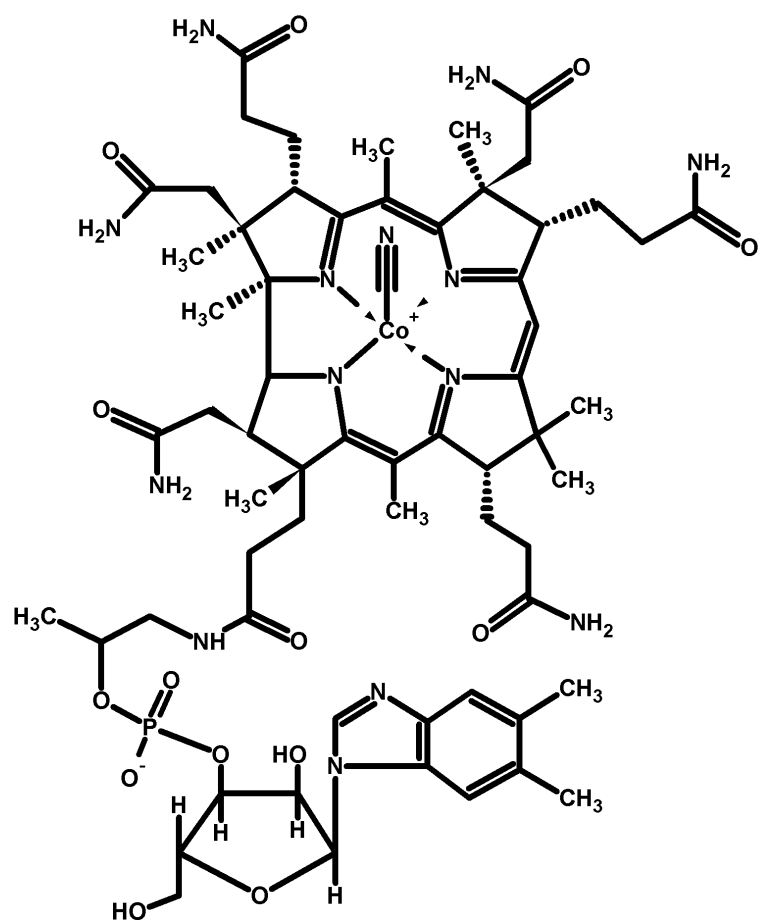
V přírodě se kobalt objevuje většinou za přítomnosti niklu. Významné rudy obsahující kobalt jsou tyto: smaltin  $\text{CoAs}_2$ , linnaeit  $\text{Co}_3\text{S}_4$ , carrollit  $\text{CuCo}_2\text{S}_4$ , kobaltin  $\text{CoAsS}$ , heterogenit  $\text{CoO}(\text{OH})$ , který je znázorněn na obrázku pod textem (Obr. 2), erytrit  $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  a kobaltpentlandit  $\text{Co}_9\text{S}_8$ . Poslední zmiňovaný obsahuje největší množství Co, a to 67,4 % [1, 4].



Obr. 2 - Kobaltová ruda heterogenit [5]

## 1.5 Biogenní vlastnosti

Kobalt jako prvek je důležitý také pro lidský organismus. Je součástí kobalaminu, což je vitamín B12. Kobalamin, červená krystalická látka, jež se rozpouští ve vodě, se významně podílí na krvetvorbě. Jako jediný ze skupiny vitamínů B se ukládá v játrech. Nedostatek vitamínu B12 v lidském těle, se projevuje únavou, nervozitou, úzkostí, depresemi, svalovou slabostí. Chronický nedostatek může vést k roztroušené skleróze. Zdroje tohoto vitamínu jsou hovězí, vepřové, rybí maso, vnitřnosti a mléčné výrobky. Schéma tohoto vitamínu je uvedeno na následujícím obrázku (Obr. 3) [1].



Obr. 3 - Vitamín B12 [6]

## 1.6 Země produkující kobalt

Mezi největší producenty kobaltu se řadí Kongo (Obr. 4), Zambie, Filipíny, Čína, Rusko, Austrálie, Kanada a Kuba. Což dokazuje odhad amerického geologického průzkumu (USGS), kdy byla globální těžba kobaltu v roce 2010 88 000 tun. Největšími zeměmi produkujícími kobalt v tomto období byla Demokratická republika Kongo (45 000 tun), Zambie (11 000 tun) a Čína (6 200 tun). V Evropě produkuje kobaltovou rudu jen jediná země a tou je Finsko. U nás v České republice se nenacházejí žádná ložiska kobaltové rudy. V roce 2010 bylo přivezeno k nám přivezeno kolem 3400 kg kobaltové rudy a 60 000 kg čistého kobaltu. Dovození cena se pohybovala kolem hodnoty 357 000 Kč za tunu u kobaltové rudy a 940 000 Kč za tunu čistého Co [1, 4, 7].



Obr. 4 - Důl v Kongu [7]

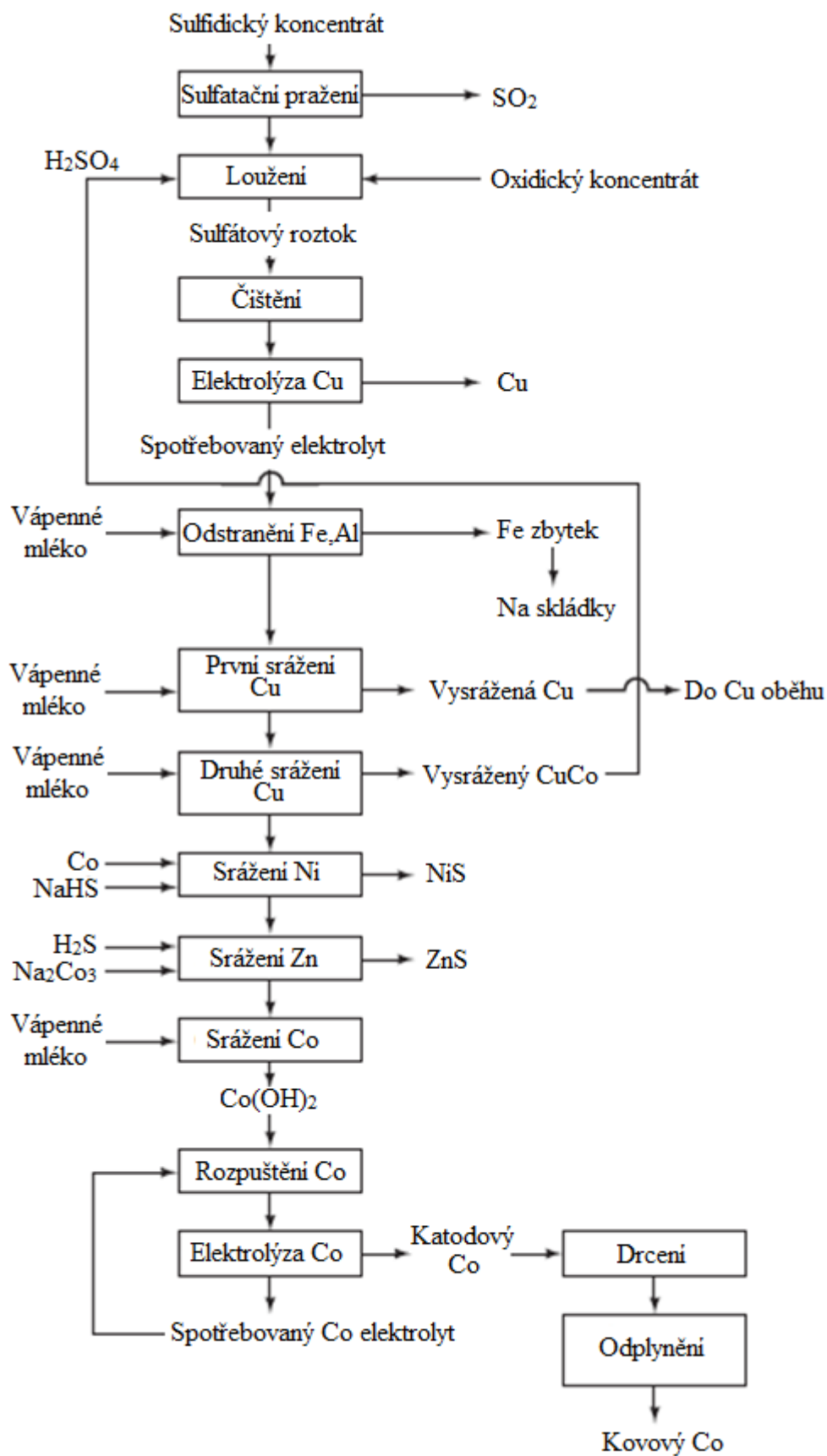
## 1.7 Výroba

K výrobě se využívá dvou metod, a to pomocí pyrometalurgie a zejména hydrometalurgie.

### 1.7.1 Hydrometalurgická výroba

Tato metoda je nejčastěji využívána k průmyslové výrobě. Především se používá v Kongu a Zambii. Principem je loužení sulfidické měďnato - kobaltové rudy v kyselině sírové.

Sulfidická ruda se nejprve praží ve fluidizační peci a přemění kobaltové a měděné sulfidy na rozpustné oxidy. Ty se posléze louží v  $H_2SO_4$ , přičemž se ze vniklého roztoku musí odstranit doprovodné kovy (Fe, Al, Zn) a měď. Odstranění probíhá pomocí vápenatého mléka. Vysráží se pro nás důležitý hydroxid kobaltnatý  $Co(OH)_2$  a  $CaSO_4$ . Směs je přidávána do síranového elektrolytu. V závěrečné fázi se čistý kobalt rafinuje elektrolýzou ze síranu kobaltnatého. Schéma výroby je uvedeno na obrázku (Obr. 5) [1, 4].

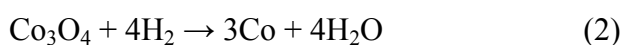
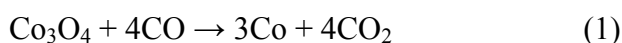


Obr. 5 - Schéma hydrometalurgické výroby Co [4]



## 1.7.2 Pyrometalurgická výroba

Probíhá tavení kobaltové rudy spolu se sodou a ledkem. Následně se roztavená směs rozpouští v kyselině chlorovodíkové HCl. Doprovodné kovy se z roztoku vysráží pomocí sirovodíku. Poté z filtrátu po oxidaci vystoupí kobaltová sloučenina  $\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , ze které získáme kalcinací a následnou redukcí antracitem v elektrické peci surový kovový kobalt. Ze surového kovu se odlévají elektrody k elektrolytické rafinaci kobaltu. Odpadní produkty z elektrolytické rafinace Co jsou velmi důležité pro výrobu arsenu As. Práškový kobalt vzniká redukcí  $\text{Co}_3\text{O}_4$  pomocí CO, nebo  $\text{H}_2$ , což vyjadřují rovnice (1) a (2) [1].



## 1.7.3 Vedlejší produkt z výroby jiných kovů

Značná část kobaltu se vyrábí jako vedlejší produkt po elektrolytické rafinaci niklu. V elektrolytu se kobalt vyskytuje ve formě síranu kobaltnatého  $\text{CoSO}_4$ . Působením plynného chloru se nejprve  $\text{Co}^{2+}$  oxiduje na  $\text{Co}^{3+}$  a uhličitánem nikelnatým  $\text{NiCO}_3$  se poté vyloučí špatně rozpustný hydroxid kobaltitý  $\text{Co}(\text{OH})_3$ . Hydroxid se po odfiltrování kalcinuje za vzniku oxidu kobaltnato-kobaltitého  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , který se podrobí redukcí na kovový kobalt [1].

## 1.8 Použití

Použití můžeme rozdělit na využití v metalurgii a využití mimo metalurgii.

V metalurgii je základem kobaltových slitin (slitiny odolné proti otěru, odolné proti vysokým teplotám, odolné proti korozi) a superslitin. Využívá se i jako legující prvek oceli, například pro vylepšení řezných vlastností. Práškovou metalurgií se vyrábí slinuté karbidy, ve kterých je kobalt zastoupen. Jsou totiž tvořeny jemnými částicemi tvrdých karbidů kovů (wolfram W, titan Ti, tantal Ta), jež jsou spojeny kobaltem. Poměr zastoupení jednotlivých karbidů a kobaltu určuje vlastnosti slinutých karbidů.

Mimo metalurgii se momentálně největší množství kobaltu používá v elektrotechnice především k výrobě baterií a akumulátorů Li - Ion typu (Lithium - iontová). Což jsou v současné době nejpoužívanější baterie, především v přenosných zařízeních.

- LCO baterie - Lithium Cobalt Oxide – ( $\text{LiCoO}_2$ ) ~ 60% Co
- NMC baterie - Lithium NickelManganeseCobalt Oxide: ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) ~ 15% Co
- NCA baterie - Lithium NickelCobalt Aluminium Oxide ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) ~ 9% Co

Další použití v elektronice je například pro integrované obvody, solární kolektory, polovodiče.

Kobaltové sloučeniny se využívají jako barviva. Například kobaltová zeleň  $\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$ , kobaltová modř  $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , dusičnan kobaltnatý  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  jako červený pigment k barvení keramiky. Izotop  $^{60}\text{Co}$ , jenž je radioaktivní a je zdrojem gama záření, má své uplatnění v medicíně [1, 4].

## 2 Kobaltové slitiny

### 2.1 Rozdělení

Kobaltové slitiny dělíme na odolné proti opotřebení, odolné vůči vysokým teplotám, odolné vůči korozi, s elektromagnetickými vlastnostmi a biokompatibilní.

#### 2.1.1 Odolné proti opotřebení

Ve slitině se kromě Co navíc nachází uhlík a křemík. Uhlík zvyšuje tvrdost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Ten totiž způsobuje vyšší obsah karbidů v materiálu. Například u slitiny stelit 3 s množstvím 2,4 hm. % C se v materiálu vyskytuje množství karbidických částic odpovídající 30 hm.% materiálu, především typu  $\text{M}_7\text{C}_3$  ( $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) a  $\text{M}_6\text{C}$  ( $\text{W}_6\text{C}$ ). Tvar a velikost karbidických částic je závislý na rychlosti ochlazování. Karbidy  $\text{M}_7\text{C}_3$  s hexagonální strukturou mají tvrdost okolo 2200 HV, proto je hlavní složkou otěruvzdorných slitin na kobaltové bázi [4].

## 2.1.2 Odolné vůči vysokým teplotám

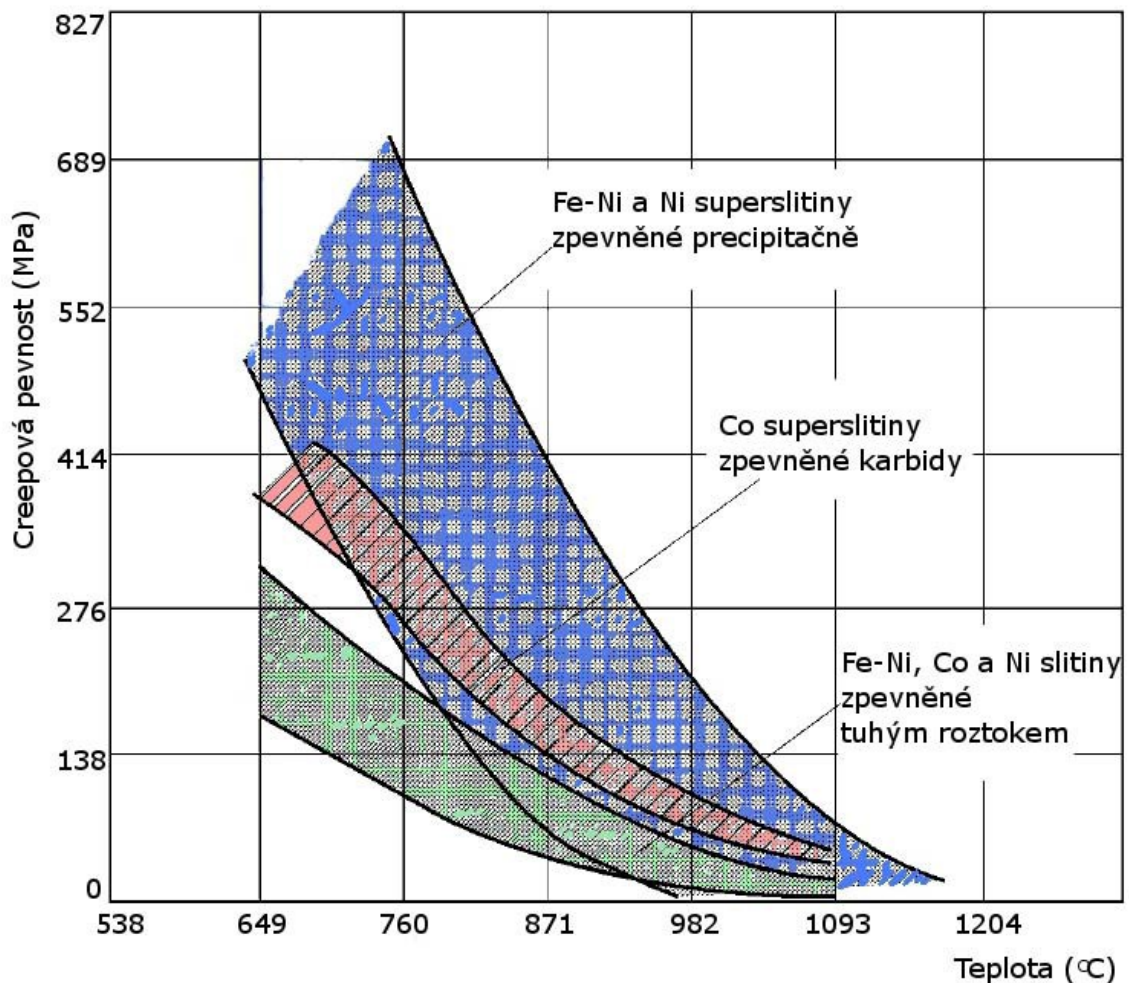
Patří zde žárupevné slitiny, což jsou materiály schopné pracovat za zvýšených teplot (přibližně od 540 °C až k 0,9  $T_f$ ). Tyto slitiny se nazývají také superslitiny. Nejčastěji se jedná o slitiny na bázi kobaltu a niklu.

S ohledem na rozvoj technologií, slitiny niklu a kobaltu je možno zařadit mezi následující skupiny:

- slitiny zpracované tvářením
- odlévané slitiny (vakuové tavení)
- slitiny s usměrněnou krystalizací - kolumnární
- slitiny s usměrněnou krystalizací - monokrystalické
- slitiny, vytvrzované disperzně oxidy
- slitiny vytvářené metodami práškové metalurgie, včetně slitin o superplastických vlastnostech
- slitiny nové generace

Kobaltové superslitiny se vyznačují vysokou odolností proti vysokoteplotní korozi a pevností při pracovních teplotách 980 až 1100 °C. Bývají užívány i při nižších teplotách (cca 750 °C) z ekonomického hlediska, protože výroba superslitin na bázi Co které lze odlévat na vzduchu nebo v argonu, je levnější, než vakuové tavení niklových superslitin.

Superslitiny na kobaltové bázi je tvořena tuhým roztokem a zpevněná karbidickými částicemi MC,  $M_6C$ ,  $M_7C_3$ , a  $M_{23}C_6$ . Na obrázku č. 6 vidíme oblast použití kobaltových superslitin ve srovnání se superslitinami jiných bází [4, 8, 9, 10].



Obr. 6 - Porovnání Ni superslitin se superslitinou na bázi Co [10]

### 2.1.2.1 Vliv legujících prvků

Přídavek kobaltu v superslitinách má stabilizující vliv na tuhý roztok  $\gamma$ . Rostoucí množství Co zmenšuje míru rozpustnosti ostatních prvků v matici, zejména Al a Ti. Kobalt se do superslitin dává hlavně se záměrem zvýšit žárupevnost a snížit energii vrstevné chyby. Má také obstarat příznivé technologické vlastnosti.

Chrom Cr dodává vyšší odolnost proti oxidační korozi a vysokoteplotní korozi. Probíhá zpevnění karbidy typu  $M_7C_3$  a  $M_{23}C_6$ .

Molybden Mo a wolfram W ve slitinách na bázi kobaltu snižují energii vrstevné chyby. Díky tomu snižují stabilitu tuhé fáze  $\gamma$ . U slitin, které obsahují přibližně 20Ni - 20Cr - 10Mo (typy Haynes 188 a MP 35N), lze získat při teplotě okolo 600 °C zpevnění alotropickou přeměnou vyvolanou plastickou deformací. Intermetalické fáze typu  $Co_3Mo$ ,  $Co_3W$ , nebo Lavesova fáze  $Co_2W$  nemají velký vliv na zpevnění s ohledem na nežádoucí z tohoto hlediska morfologické znaky a malou stabilitu za zvýšené teploty.

Hliník Al vylepšuje odolnost vůči oxidaci. Ve slitině způsobuje vznik intermetalické sloučeniny CoAl.

Nikl Ni stabilizuje KPC (FCC) mřížku, zvyšuje kujnost materiálu.

Zirkonium Zr spolu s bórem B zpevňují slitinu při tečení, protože ovlivňují morfologii hranic zrn. Zirkonium tvoří karbidy typu MC. Je zaznamenána také větší míra odolnosti proti křehkému lomu za vysoké teploty.

Uhlík C umožňuje vznik karbidických částic typu MC,  $M_6C$ ,  $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$ , což je hlavním principem zpevnění kobaltových superslitin.

Další prvky jako titan Ti, niob Nb, tantal Ta a vanad se mohou objevovat ve středním intervalu teplot kubické fáze typu  $\gamma$  (například  $Co_3Ti$  nebo  $Co_3Ta$ ). Jsou nestabilní a za vyšší teploty se přeměňují v jehlicové precipitáty rovnovážných fází s hexagonální strukturou.

Rozpouštění legujících prvků v kobaltových superslitinách je menší, než u superslitin na bázi niklu, proto je významná optimalizace složení, díky čemuž lze zabránit precipitaci nepříznivých intermetalických fází.

Využití nachází při vyšších teplotách díky odolnosti proti vysokoteplotní korozi a odolnosti vůči nasiření. Zůstává jim pevnost při teplotách, které jsou nad teplotami, kdy se začínají rozpouštět precipitáty  $\gamma'$  a  $\gamma''$  u Fe-Ni nebo Ni superslitin [4, 8,10, 11].

Zastoupení jednotlivých fází vyskytujících se v kobaltových superslitinách je shrnuto v Tab. 2. Karbidy, které tvoří důležitou složku v slitinách na bázi Co jsou v Tab. 3.

Tab. 2 - Fáze obsažené v Co slitinách [4, 11]

Chemické složení fáze	Struktura
$Co_3(Mo, W, Ta, Nb)$	HTU - hexagonálně těsně uspořádaná (HCP)
$Co_3Ti, \beta Co_3Ta$	KPC - kubická plošně centrovaná (FCC)
$Co_2(Mo, W, Ta, Nb)$	Hexagonální, Lavesova fáze
$Co_7(Mo, W)_6$	Romboedrická hexagonální
$Co_2(Ta, Nb, Ti)$	Kubická, Lavesova fáze
$Co_2(Mo, W)_3$	Tetragonální, fáze $\sigma$
CoAl	Kubická
$Co_3Ti$	HTU - hexagonálně těsně uspořádaná (HCP)

Tab. 3 - Karbidy obsažené v Co slitinách [11]

Karbidická fáze	Struktura	Chemické složení
MC	KPC - kubická plošně centrovaná (FCC)	TiC, NbC, HfC
M <sub>6</sub> C	KPC - kubická plošně centrovaná (FCC)	Nb <sub>3</sub> Co <sub>3</sub> C, Ta <sub>3</sub> Co <sub>3</sub> C
M <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Hexagonální, trigonální	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>
M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	KPC - kubická plošně centrovaná (FCC)	Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub> , (Cr, Fe, W, Mo) <sub>23</sub> C <sub>6</sub>

Tepelným zpracováním můžeme zpevnit kobaltovou slitinu. Principem je změna části matrice při tváření za studena z kubické plošně centrované na hexagonálně těsně uspořádanou strukturu, díky alotropii kobaltu ( $\epsilon$  - Co,  $\alpha$  - Co). Přítomnost těchto různých struktur tvoří překážku pro pohyb dislokací, čímž způsobují zvýšení pevnosti a meze kluzu.

### 2.1.3 Odolné vůči korozi

Jsou to slitiny se sníženým množstvím uhlíků (maximální množství 0,8 hm. % C), protože karbidy na vyloučené na hranicích zrn snižují korozní odolnost [4].

### 2.1.4 S elektromagnetickými vlastnostmi

Velkého magnetického nasycení dosahují slitiny s vysokým obsahem kobaltu, železa a vanadu. Tyto materiály se nazývají Permedury. Využívají se k výrobě magnetických jader, magnetických záznamových zařízení, elektromotorů a generátorů.

Zástupcem dané skupiny kobaltových slitin je slitina s názvem Vicalloy. Jedná se o slitinu na bázi Co - Fe - V. Skládá se z 52% Co, 9,5 - 14% V, zbytek tvoří Fe. Zpracovávají se tváření za studena. Mohou se válcovat na pásy a tyče. Díky vysokému obsahu kobaltu se jedná o finančně náročnější slitinu a tak se využívá na malé magnety, jež mají využití například v hodinářském průmyslu [4, 10, 11].

### 2.1.5 Biokompatibilní

Jedná se o materiál, jehož důležitou vlastností je snášenlivost s biologickým prostředím (s živou tkání). Jde hlavně o to, aby nezpůsobil zánětlivé a alergické reakce a neuvolňoval pro okolí škodlivé látky. Nesmí ovlivňovat srážlivost krve a nesmí mít karcinogenní, či mutagenní účinky na okolní tkáň.

Mezi biokompatibilní materiály řadíme slitinu na bázi kobaltu a chromu nesoucí název Vitallium. Chemické složení je přibližně 62% Co, 27% Cr, 5,5% Mo, 0,25% C, <2% Fe. Začala být používána v třicátých letech 20. století. Je odolnější proti korozi a koroznímu praskání, únavovému lomu než používané oceli a zároveň má lepší mechanické vlastnosti. Výroba probíhá podobně jako u superslitin, což znamená, že zpevnění probíhá pomocí tuhého roztoku a karbidickými částicemi. Obsahuje karbidy typu  $M_7C_3$ ,  $M_{23}C_6$ ,  $M_6C$  a  $Cr_3C_2$ . Vitallium se dělí na lité a kované, přičemž kování za tepla má příznivý vliv především na pevnost materiálu.

Využití nachází jako dentální slitina, nebo kloubní náhrady. Jedná se hlavně o lité Vitallium. Kované za tepla se používá pro vysoce namáhané části, jakými jsou bezesporu kolena a kyčle (Obr. 7). Jako zajímavost lze zmínit, že Vitallium se vlastnostmi shoduje se superslitinou stelit, označenou konkrétně jako stelit 21, který se používal během druhé světové války jako slitina pro lopatky turbodmychadla u bojových letadel [4, 10, 11].



Obr. 7 - Protéza kyčelního kloubu z Vitallia [12].

### 3 Praktické aplikace kobaltových slitin

Kobaltové slitiny mají širokou oblast působnosti pro své kvalitní fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Dané slitiny tak nacházejí uplatnění v leteckém průmyslu, chemickém, petrochemickém průmyslu, zbrojním průmyslu, automobilovém průmyslu, dřevařském průmyslu, těžářství, energetice, medicíně, elektrotechnice, strojírenství.



Uplatnění ve zbrojním průmyslu má kobaltová slitina ve formě stelitu jako vnitřní vložka hlavní amerických kulometů M60, M240 a M2. Výrobce U. S. Ordnance udává průměrnou životnost takové hlavně na 18000 výstřelů, oproti pochromované hlavní s životností okolo 10000 ran [13].

Shrnutí aplikací kobaltových slitin je uvedeno v Tab. 4. Za zmínku stojí, že většina z nich jsou stelity.

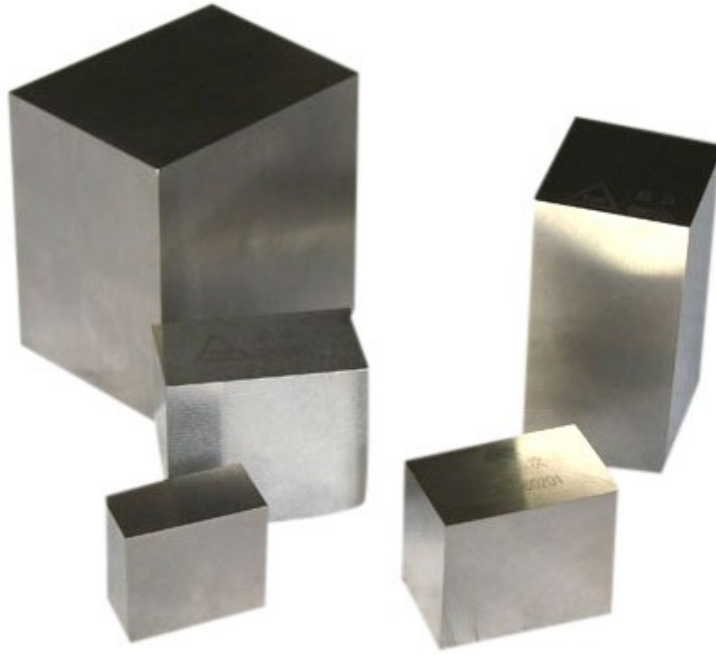
Tab. 4 - Praktické aplikace kobaltových slitin

Oblast výskytu	Konkrétní příklad použití
Letectví	Plynové turbíny
Chemický, petrochemický průmysl	Části čerpadel, ventilů
Sklářský průmysl	Rozvlákňovací hlavy k výrobě skelných vláken, pro skelnou vatu
Automobilový (dopravní) průmysl	Ventily v motorech
Strojírenství	Nástroje k obrábění
Zbrojní průmysl	Vložky hlavní střelných zbraní
Dřevařský průmysl	Pily
Těžební průmysl	Rypadla, dopravníky
Energetika	Části parních turbín (lopatky rotoru)
Medicína	Protetika
Elektrotechnika	Magnety pro elektromoty, generátory

## 4 Kobaltové superslitiny typu stelit

### 4.1 Historie

Ternární nemagnetická slitina na bázi Co - Cr - W nebo Co - Cr - Mo. Za objevitele se považuje americký metalurg ElwoodHaynes, který na počátku 20. století (1907, 1913 Co - Cr - W) zjistil, že wolfram a molybden značně zpevňují systém Co - Cr. Pojmenování stelit vzniklo z latinského slova stella, v překladu hvězda, díky zářivě lesklému povrchu (Obr. 8) [4].

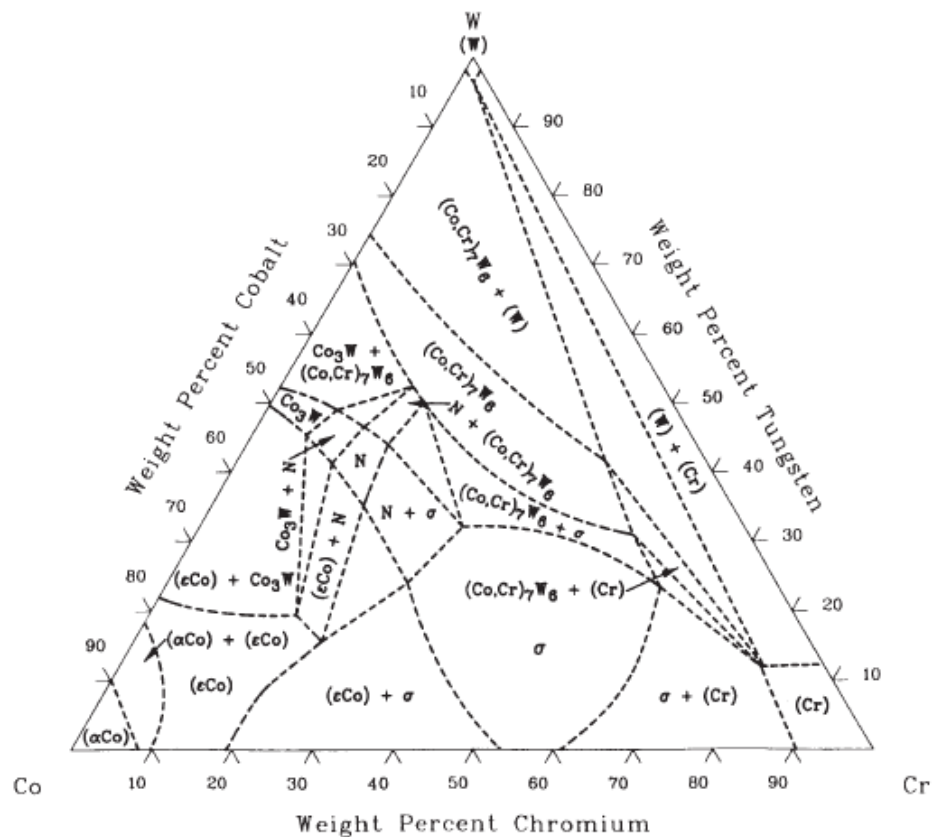


Obr. 8 - Kobaltová slitina stelit [14]

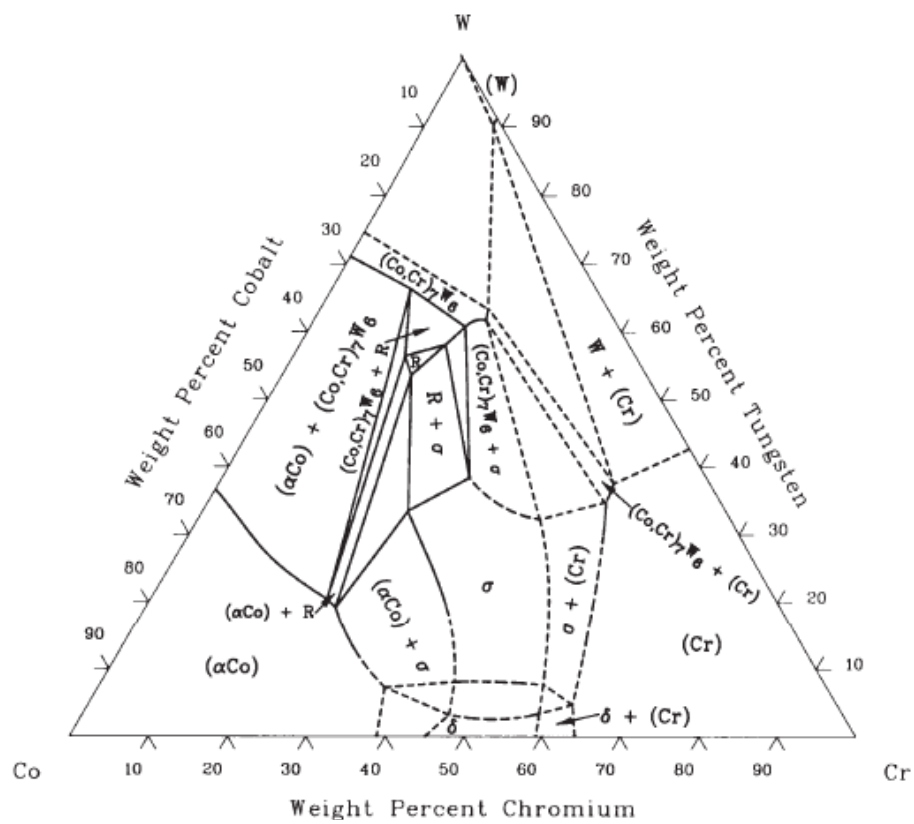
## 4.2 Vlastnosti a použití

Díky velké odolnosti při vyšších teplotách byly stelity především zpočátku využívány na řezné nástroje (soustružnické nože). Pro srovnání mají lepší řezné vlastnosti než uhlíkové nástrojové oceli a některé rychlořezné nástrojové oceli. Stelity kombinují vlastnosti odolnosti proti korozi, odolnosti vůči opotřebení a schopnost snášet extrémní teploty. Pro užití na řezné nástroje je významná odolnost proti procesům, jako je žíhání a vytvrzování, které by zvýšené teploty mohly způsobovat. Speciálním druhem stelitu je takzvaný Talonit, což je válcovaný za tepla stelit 6BH (H značí válcování za tepla - hot rolling). Z Talonitu se vyrábějí nože, protože v porovnání s ocelí má mnohem vyšší korozivzdornost a lepší řezné vlastnosti, déle vydrží ostré [4, 11, 14].

Na Obr. 9 a 10 je znázorněn diagram ternární slitiny báze Co - Cr - W, řadící se mezi stelity.



Obr. 9 - Izotermický řez systému Co - Cr - W při 700 °C [4]



Obr. 10 - Izotermický řez systému Co - Cr - W při 1350 °C [4]

Příkladem je stelit 6B (označován také jako Haynes 6B). Používá se jako materiál pracující za zvýšených teplot a v korozivním prostředí, kde je obtížné nebo nereálné mazání. Například v chemickém průmyslu. Chemické složení je 28 až 32% Cr; 3,5 až 5,5% W; maximálně 3% Fe; maximálně 3% Ni; maximálně 2% Si; maximálně 1,5% Mo; 0,9 až 1,4% C; zbytek % Co.

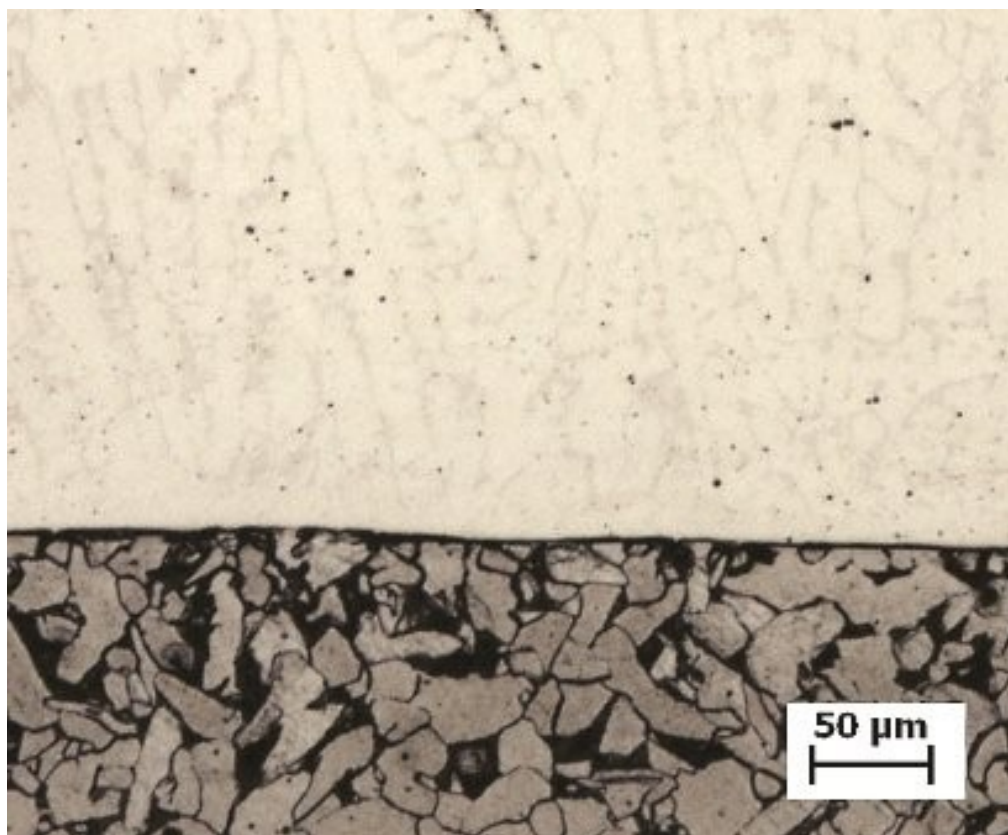
Jako další můžeme uvést stelit 6K s následujícím chemickým složením: 28 až 32% Cr; 3,5 až 5,5% W; maximálně 3% Fe; maximálně 3 % Ni; maximálně 2 %Si; maximálně 2% Mn; 1,4 až 1,9% C; maximálně 1,5% Mo; zbytek % Co. Využití nalézá v průmyslu jako řezný nástroj pro řezání dřeva, kůže, gumy, umělých vláken a papíru.

Využití stelitů se nachází v různých odvětvích průmyslu. Hlavní jejich devízou je jejich žárupevnost a tak se uplatňují například jako materiál, z kterého se odlévají součásti na rozvlákňovací hlavy (Obr. 11), které slouží k výrobě skelných vláken do skelné vaty. Pro výrobu součástí ze stelitu se využívá technologie přesného lití z důvodu velice obtížné obrobitelnosti. Výhodnější je odlít výrobek a ten následně v případě potřeby obrousit, než ho obrábět řezáním [13].



Obr. 11 - Odlévaná rozvlákňovací hlava [15]

Stelity se také navařují jako ochranné vrstvy na povrchy tepelně namáhaných součástí, jakými jsou třeba ventily dieselových motorů lodí, automobilů a generátorů elektrického proudu. Konkrétně na ventily se používají slitiny stelit 1, stelit 4, stelit 6, stelit 12. Využívá se i otěruvzdornosti za studena. Navařování probíhá různými metodami. Jako příklad můžeme uvést technologii PTA (Plasma Transfer Arc). Jedná se o navařování plasmou, která je generována elektrickým obloukem mezi wolframovou elektrodou (katodou) a součástí, na níž navařujeme materiál. Nejběžnějším plasmovým plynem je argon Ar. Navařovaný materiál je ve formě prášku, jenž po nanesení krystalizuje, čímž vytváří požadovaný ochranný povlak (Obr. 12). Další oblíbenou technologií je navařování laserem. Výhodou je menší tepelné ovlivnění povrchu na rozdíl od plasmy a navařování el. obloukem. Navařování probíhá přidáváním práškového stelitu do laserového paprsku v ochranné atmosféře. Dojde k roztavení prášku a natavení povrchu dané součásti a následně se spojí. Zrnitost prášku pro plasmu i laser se pohybuje v rozmezí 0,05 - 0,1mm. Tloušťka jedné nanesené vrstvy může být až 2 mm. Aplikují se na součásti, jakými jsou různá rypadla, šneky, dopravníky, na povrchy válců papírenského a metalurgického průmyslu. Provozní teplota může být až kolem 500 °C [4, 16, 17].



Obr. 12 - Navařená ochranná vrstva stelitu na uhlíkové oceli metodou PTA [16]

Kobaltová superslitina se objevuje kvůli žárupevnosti a odolnosti proti vysokoteplotní korozi na součástech pracujících za extrémních vysokých teplot, jimiž mohou být plynové či parní turbíny (Obr. 13). Významným faktorem pro použití je i jejich rezistence proti erozivnímu působení a síranové korozi



Obr. 13 - Rotační část parní turbíny [18]

## **5 Strukturně fázový rozbor stelitu**

### **5.1 Materiál a experimentální technika**

K strukturně fázové analýze byl použit vzorek superslitiny Co - stelit, výrobce DPL Velká Bíteš. Chemické složení dané superslitiny bylo provedeno rtg. fluorescenčním spektroskopem SPECTRO XEPOS. Výsledek je znázorněn níže (Tab. 5). Analýza plynů O, N (Tab. 6) byla provedena analyzátozem LECO. Metalografický rozbor byl proveden na leštěném výbruse a po elektrolytickém leptání v roztoku 100 ml H<sub>2</sub>O + 10 g FeCl<sub>3</sub> + 5 ml HCl při 6 V po dobu 20 sekund světelným mikroskopem Olympus GX51. Fázová analýza byla provedena na elektronovém řádkovacím mikroskopu JEOL JSM 6490LV s rtg. energiově disperzním analyzátozem Oxford Inca x-act.

## 5.2 Výsledky

### 5.2.1 Chemické složení

Metalografické vzorky byly v první fázi podrobeny chemické na analýze na výše uvedeném spektrometru. Stanovené hodnoty ze tří měření jsou uvedeny v následující Tab 5.

Tab. 5 - Chemické složení vzorku

Prvek	Jednotka	Výsledek
Mn	% hmot.	0,43
Si	% hmot.	0,10
Cr	% hmot.	30,30
Fe	% hmot.	1,00
Nb	% hmot.	3,11
W	% hmot.	7,89
Ni	% hmot.	11,90
P	% hmot.	< 0,01
S	% hmot.	< 0,01
Co	% hmot.	43,80
Mo	% hmot.	0,18
C	% hmot	0,67

Dále byla provedena analýza plynu kyslíku a dusíku, jejichž zvýšený obsah může vést k tvorbě výrazných ředin, případně trhlin. Naměřené hodnoty obou plynů jsou uvedeny v následující Tab 6.

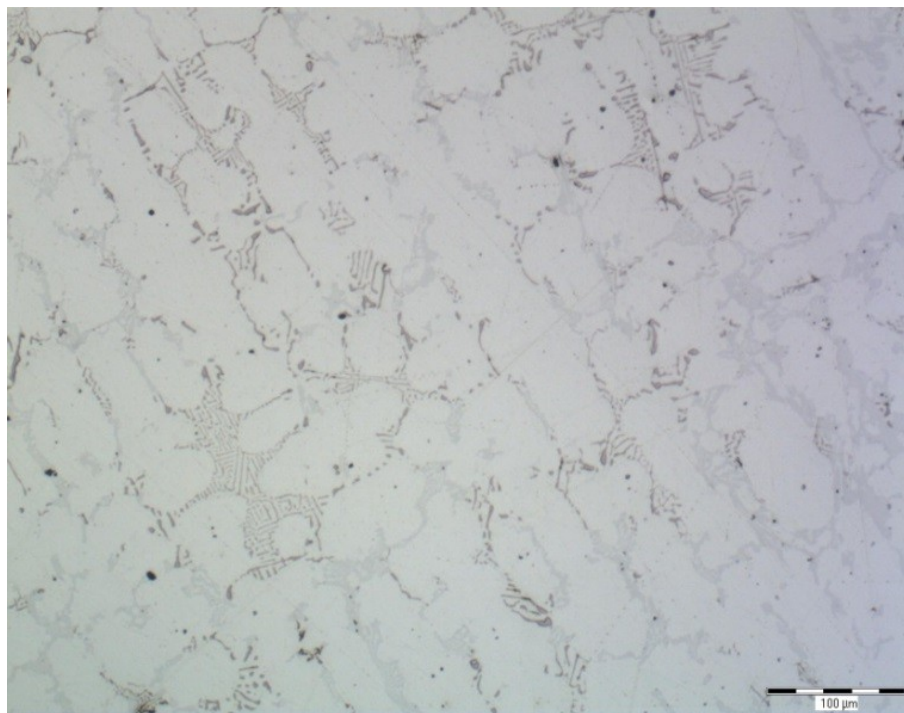
Tab. 6 - Analýza prvků O, N

	O / %	N / %
Měření 1	0,033	0,091
Měření 2	0,031	0,093
Měření 3	0,031	0,092
Průměrná hodnota	0,032	0,092



## 5.2.2 Strukturně fázová analýza

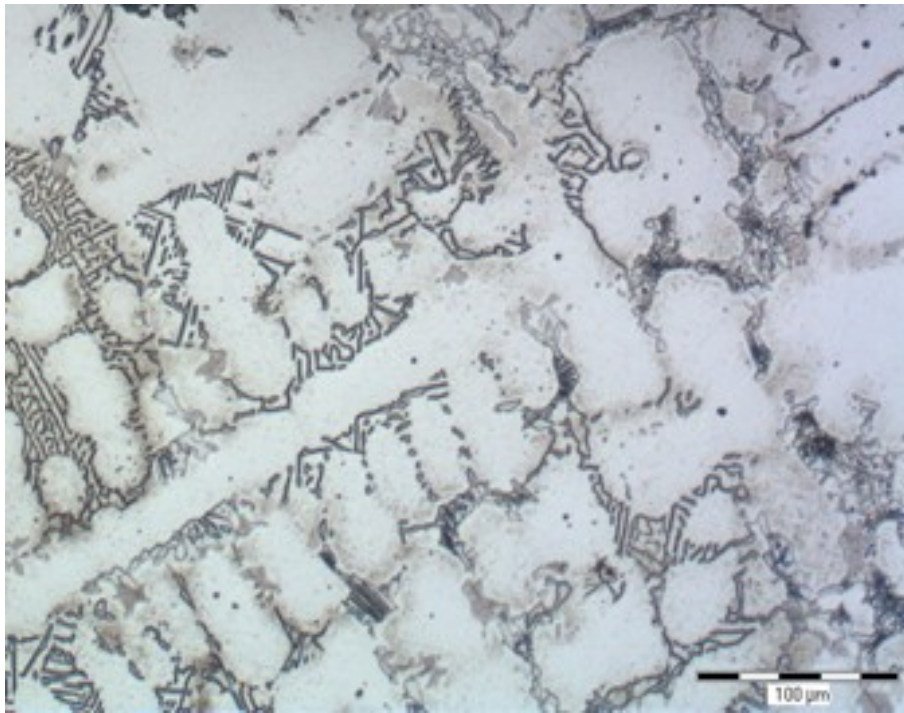
Metalografická analýza byla provedena výše uvedeným světelným mikroskopem Olympus GX 51 v neleptaném a leptaném stavu. Metalografické snímky v neleptaném a leptaném stavu jsou uvedeny na Obr. 14, 15, 16.



Obr. 14 - Mikrostruktura - neleptaný stav

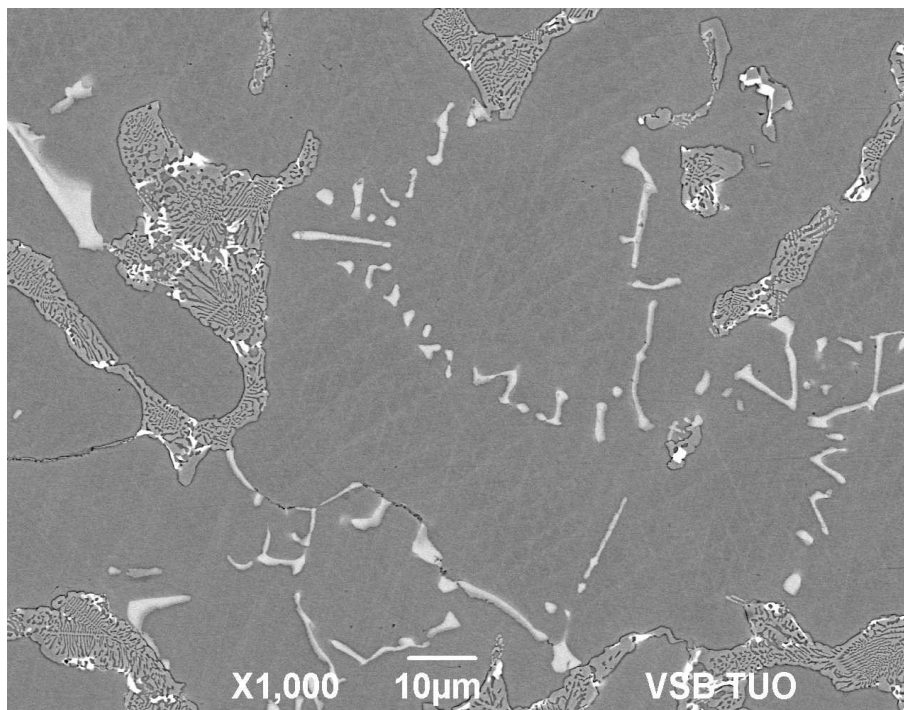


Obr. 15 - Mikrostruktura - leptaný stav

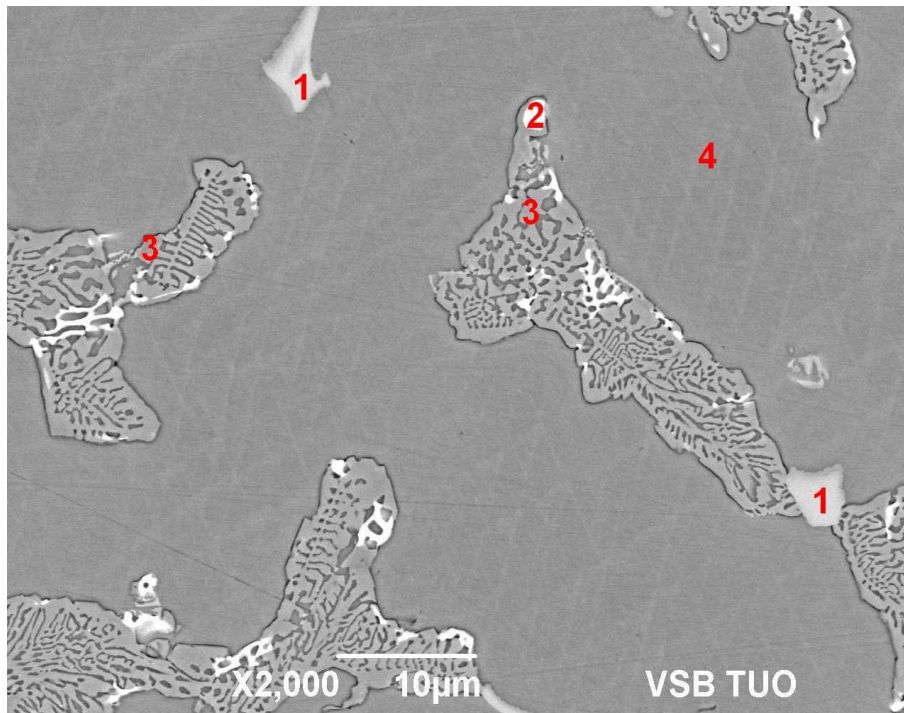


Obr. 16 - Leptaný stav

Pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu (ŘEM) byly detekovány fáze a jejich distribuce v základní matici. Snímky z ŘEM jsou prezentovány na Obr. 17 a 18. Na Obr. 18 jsou vyznačeny oblasti, ze kterých byla provedena rtg. mikroanalýza.



Obr. 17 - Rozložení karbidů



Obr. 18 - Analyzované oblasti

Vzorek dané superlitiny po odlití vykazoval strukturu tvořenou karbidickým skeletem sestávajícím se z primárních MC karbidů bohatých především Nb a eutektickými karbidy, jež mají dvojí kontrast, bílý (bohaté W) a šedý (bohaté Cr)

Vyznačené oblasti vykazovaly:

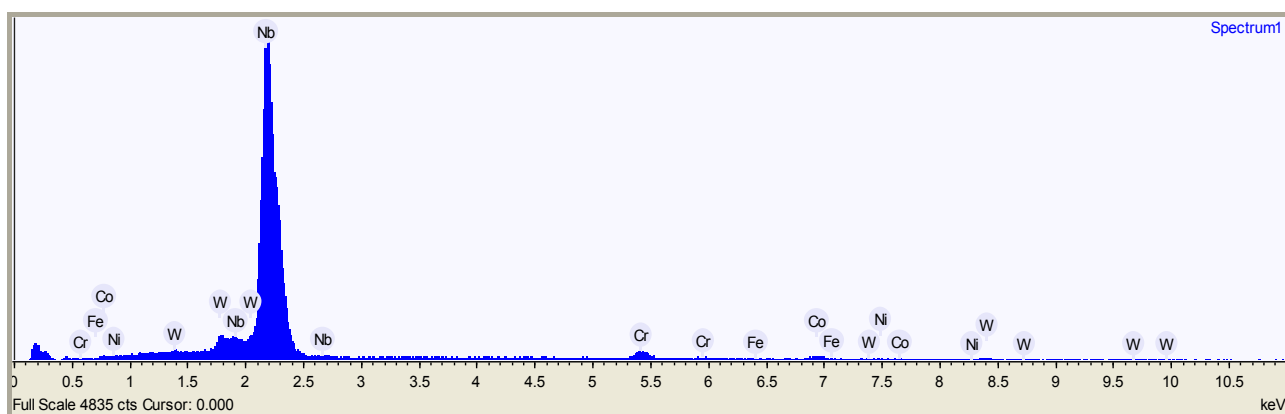
- 1 – primární MC karbidy (bohaté Nb)
- 2 – bílý kontrast eutektika (karbidy bohaté W)
- 3 – šedý kontrast eutektika (karbidy bohaté Cr)
- 4 – matrice

V Tab. 7 je uvedeno chemické složení jednotlivých fází. Grafické znázornění složení na Obr 19 -22.

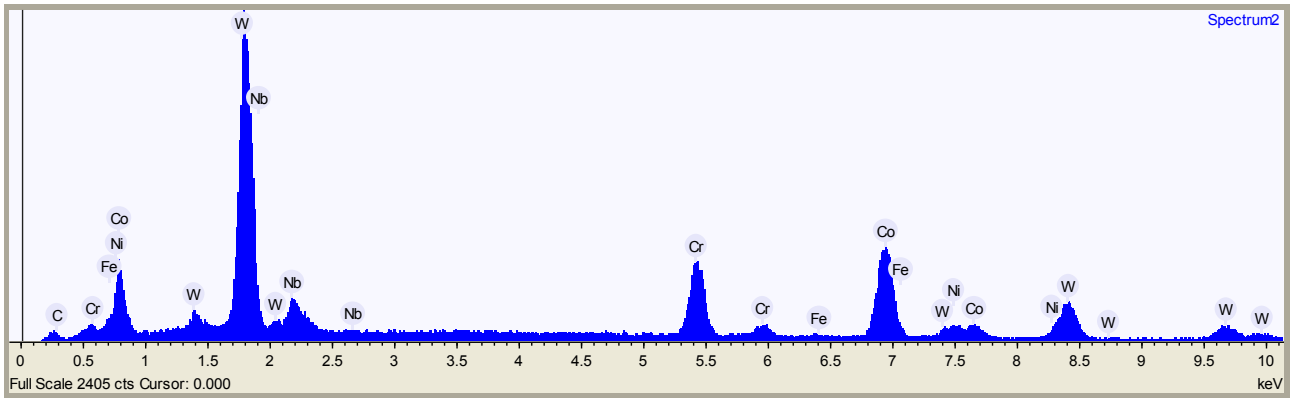


Tab. 7 - Chemické složení jednotlivých fází ve hmotnostních procentech.

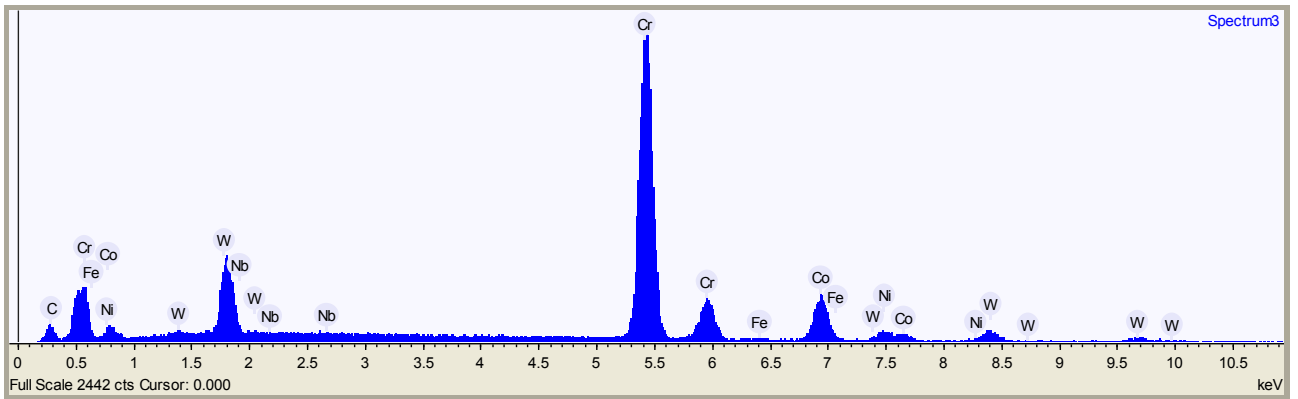
Název	Cr	Fe	Co	Ni	Nb	W
Spectrum 1	2,85	0,00	2,58	0,72	89,00	4,86
Spectrum 1	2,69	0,00	1,61	0,43	89,62	5,66
Spectrum 1	2,36	0,09	1,09	0,25	91,25	4,96
Spectrum 1	2,30	0,01	1,44	0,66	91,39	4,20
Spectrum 2	23,21	0,37	18,55	3,69	18,30	35,89
Spectrum 2	24,83	0,17	21,26	4,70	14,31	34,74
Spectrum 2	19,33	0,16	21,89	4,96	18,52	35,15
Spectrum 2	18,03	0,52	20,27	4,21	16,84	40,13
Spectrum 3	64,78	0,32	13,91	2,05	0,95	17,98
Spectrum 3	62,69	0,34	14,03	2,20	0,02	20,72
Spectrum 3	63,14	0,19	14,68	2,67	0,89	18,43
Spectrum 4	30,42	0,50	47,51	11,54	0,73	9,30
Spectrum 4	30,03	0,88	47,07	12,01	0,98	9,02
Spectrum 4	30,57	0,79	46,49	11,21	0,87	10,07



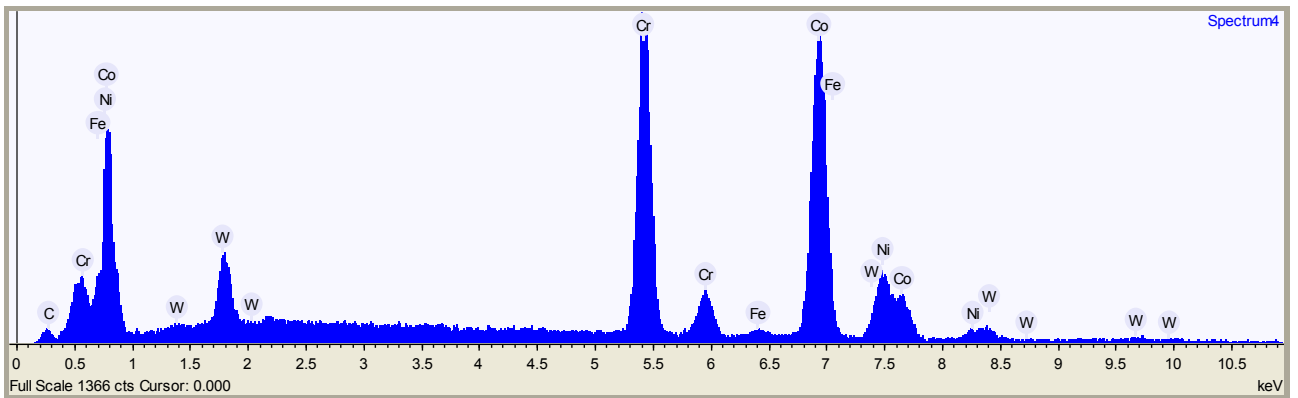
Obr. 19 - Spectrum 1



Obr. 20 - Spectrum 2



Obr.21 - Spectrum 3



Obr. 22 - Spectrum 4

## Závěr

Kobalt jako prvek se dostal díky rozvoji elektrotechniky do popředí, s ohledem k všednímu použití, avšak jeho poměrně malé množství a složitá výroba z něj dělají cenově nákladnou surovinu. To je důvodem jeho úbytku použití superslitin na kobaltové bázi a nahrazování jinými, například niklovými superslitinami.

V teoretické části práce je rozvedena výroba kobaltu, jeho fyzikální a chemické vlastnosti, surovinové zdroje, použití jako prvku, charakteristika kobaltových slitin, jejich vlastnosti a použití.

Cílem práce bylo především podrobit dodaný vzorek superslitiny typu stelit rozboru chemického složení, obsahu plynu kyslíku a dusíku a metalografické analýze.

Na vzorku superslitiny kobaltu typu stelit bylo pomocí fluorescenčního spektroskopu provedeno chemické složení, které odpovídá standardům na něj kladeným. Na následně provedené analýze plynu kyslíku a dusíku, jejichž obsah může vést k tvorbě výrazných ředin nebo trhlin, se ukázal vyšší obsah těchto prvků. Metalografický rozbor, který byl prováděn pod světelným mikroskopem na vzorcích v leptaném a neleptaném stavu, detailně zobrazil strukturu zkoumaného vzorku. Fázová analýza byla provedena na elektronovém řádkovacím mikroskopu. Na posledním vyhotoveném obrázku jsou ukázány jednotlivé fáze.

Z výsledku laboratorních měření lze říci, že dodaný vzorek kobaltové superslitiny splňuje základní požadavky. Slitina je používána k výrobě nástroje pro sklářský průmysl. Po provedení analýzy zjištěné údaje a neměřené hodnoty odpovídají údajům superslitiny používané pro dané účely.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kobalt, chemický prvek Co, popis a vlastnosti. Periodická soustava prvků [online]. Copyright © 2009 [cit. 28.02.2019]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/27.html>
- [2] Kobalt electrolytic and 1cm3 cube.jpg - Wikimedia Commons. [online]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11530303>
- [3] Periodická video tabulka prvků. Periodická video tabulka prvků [online]. Copyright © 2015 [cit. 28.02.2019]. Dostupné z: <http://www.chemickeprvky.cz/prvek/co/>
- [4] DAVIS, J. R. Nickel, cobalt, and their alloys. Materials Park: ASM International, 2000. 442 s. ASM specialty handbook. ISBN 0-87170-685-7
- [5] Mindat.org - Mines, Minerals and More [online]. Copyright © Rob Lavinsky [cit. 28.02.2019]. Dostupné z: <https://www.mindat.org/photo-47684.html>
- [6] Vitamin B12 – WikiSkripta. [online]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Vitamin\\_B12](https://www.wikiskripta.eu/w/Vitamin_B12)
- [7] Cobalt Statistics and Information. USGS.gov | Science for a changing world [online]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cobalt-statistics-and-information>
- [8] HERNAS, A., et al.: Žárupevné oceli a slitiny. 2. vyd. Ostrava: VŠB- TU Ostrava, 2009. 389 s. ISBN 978-80-248-2187-0.
- [9] JONŠTA, Z. Materiály pro speciální použití. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2013. Dostupné z: [http://katedry.fimmi.vsb.cz/Opory\\_FMMI/636/636-MSP.pdf](http://katedry.fimmi.vsb.cz/Opory_FMMI/636/636-MSP.pdf)
- [10] LOSERTOVÁ, Monika. Progresivní materiály [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2575-5.
- [11] DONACHIE, Matthew J. a Stephen James DONACHIE. Superalloys: a technical guide. 2nd ed. Materials Park: ASM International, 2002. 439 s. ISBN 0-87170-749-7.
- [12] Vitallium hip prosthesis | Science Museum Group Collection. Science Museum Group Collection [online]. Copyright © The Board of Trustees of the Science Museum [cit. 12.04.2019]. Dostupné z: <http://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co179831/vitallium-hip-prosthesis-with-curved-slender-stem-prosthesis>

- [13] Stellite | Weapons | US Ordnance. US Ordnance | M2 MK43 M60 M240 | Defense Systems Manufacturing [online]. Dostupné z: <http://www.usord.com/weapons/stellite>
- [14] Stellite (Stellite 6, Stellite 21)- composition, properties, deloro, coating, welding, knives, hardfacing, valve seats. Chemistry Learner | It's All About Chemistry [online]. Copyright © 2019 [cit. 19.04.2019]. Dostupné z: <http://www.chemistrylearner.com/stellite.html>
- [15] JOCH, A. Vývoj kovových materiálů se zvýšenou životností pro sklářské nástroje. Disertační práce. Brno: VUT v Brně, 2003, 109 s.
- [16] Navařování plazmatem - ochranné povlaky ve výrobě i výzkumu. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [cit. 22.04.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/navarovani-plazmatem-ochranne-povlaky-ve-vyrobe-i-vyzkumu.html>
- [17] TRIBOLÓGIA : Laserem nanesené práškové povlaky[online]. Copyright © 2008 [cit. 22.04.2019]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/laserem-nanesene-praskove-povlaky.html>
- [18] Prášková metalurgie materiály CoCrW [online]. Copyright © Shanghai globální fúze materiály technologie Co.Ltd. [cit. 24.04.2019]. Dostupné z: <http://cz.alloy-powder.com/thermal-spray-powder/cobalt-based-powder/powder-metallurgy-materials-cocrw-alloy.html>