



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KOBALTOVÉ SLITINY A JEJICH SVAŘITELNOST

COBALT ALLOYS AND THEIR WELD ABILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Herčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Tomáš Herčík
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Marián Sigmund, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kobaltové slitiny a jejich svařitelnost

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kobalt tudíž i jeho slitiny patří v dnešní době mezi vzácné kovy a jeho cena je takřka srovnatelná s cenou stříbra. Jelikož se kobaltu využívá při výrobě lithium-ion (Li-Ion) baterií, které pohánějí elektro-automobily. Je předpoklad, že do roku 2020 bude veškerá spotřeba kobaltu využívána na jejich výrobu. Proto bude v budoucnu velmi aktuální nedostatek této slitiny řešit, jak z pohledu využití jiných slitin pro výrobu baterií nebo úsporou ve využívání při stávajících aplikacích. Jelikož kobalt je slitina svařitelná bude nutné hledat i vhodnější technologie svařování bez použití přídavného materiálu.

Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnotit současný stav použití a aplikací kobaltu a kobaltových slitin ve výrobě.
2. Vypracovat literární rešerši kobaltových slitin a její svařitelnosti.
3. Vypracovat a porovnat stávající technologie svařování–navarování kobaltových slitin.
4. Zvolit nejvhodnější technologie z pohledu možné úspory použití kobaltu.
5. Návrh na provedení a vyhodnocení experimentu.

Seznam doporučené literatury:

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1 vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2001

Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

MOHYLA, Miroslav. Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1992. ISBN 80-7078-138-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

HERČÍK Tomáš: Kobaltové slitiny a jejich svařitelnost.

Bakalářská práce je zaměřena na zhodnocení současného stavu použití kobaltu a kobaltových slitin. Vzhledem k jeho nedostatku a rostoucí spotřebě vzácného kovu pro výrobu Li-on baterií roste také jeho cena, která už nyní takřka dosahuje ceny stříbra. Některé země jej dokonce označily za kritický a vykupují jej ve velkém množství. Od roku 2020 se počítá, že bude veškerý kobalt vyhrazen právě pro automobilový průmysl, kde použití kobaltu v bateriích zvyšuje jejich kapacitu. Je tedy aktuální hledat úsporu vzácného kovu ve stávajících aplikacích, které zahrnují i svařování. Ze stávajících svařovacích technologií se jako nejlepší jeví laserové svařování, kde nemusí být použit přídavný materiál, což umožní snížení spotřeby kobaltu. Tato technologie byla ověřena v experimentální části a vyhodnocena destruktivními zkouškami (mikrotvrdosti, mikrostruktury, makrostruktury).

Klíčová slova: kobalt, Li-on baterie, kobaltové slitiny, laserové svařování

ABSTRACT

HERČÍK Tomáš: Cobalt alloy and their weldability.

The bachelor thesis is focused on the evaluation of the current state of use of cobalt and cobalt alloys. Due to its shortage and the growing need for precious metal for the production of Li-on batteries, its price, which is now almost at silver prices, is also rising. Some countries even described it as critical and they have bought it in large quantities. From 2020, it is expected that all cobalt will be reserved for the automotive industry, where the use of cobalt in batteries increases their capacity. It is therefore time to look for ways in which precious metal is economised in existing applications. This also includes welding. Of the existing welding technologies, laser welding looks to be the best. In this case no additional material is needed which reduces the need for cobalt. This technology was verified in the experimental part and evaluated by destructive tests (microhardness, microstructure, macrostructure).

Keywords: cobalt, Li-on batteries, cobalt alloys, laser welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HERČÍK, Tomáš. *Kobaltové slitiny a jejich svařitelnost*. Brno, 2018. 43s, 6 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Marián Sigmund, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 25.5.2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce, Ústavu přístrojové techniky AV ČR, v. v. i. za umožnění provedení experimentální části a Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. za cenné informace týkající se vyhodnocení vzorku a provedení zkoušek. Také bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	10
1 APLIKACE KOBALTU	11
1.2 Rozsah použití	11
2 KOBALTOVÉ SLITINY	13
2.1 Historie a vývoj	13
2.2 Otěru–vzdorné slitiny	14
2.3 Žáru–vzdorné slitiny	16
2.4 Korozi–vzdorné slitiny	17
2.6 Kobalt	19
2.5.1 Výroba kobaltu.....	20
2.5.2 Vlastnosti kobaltu a jejich vliv na slitinu.....	21
2.6 Svařitelnost kobaltových slitin	22
2.6.1 Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost.....	23
3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ	24
3.1 Svařování metodou TIG / WIG	24
3.2 Plazmové svařování	26
3.3 Svařování elektronovým paprskem	27
3.4 Laserové svařování	29
3.4.1 Pevnolátkové lasery.....	30
4 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTU	32
4.1 Zkouška mikrostruktury a makrostruktury, ČSN EN ISO 17639	32
4.2 Zkouška tvrdosti dle Vickerse, ČSN EN ISO 9015–1	32
4.4 Vlastnosti zvoleného materiálu	33
4.5 Svařovací proces	34
4.6 Příprava vzorku pro provedení zkoušek	35
4.6.1 Vyhodnocení makrostruktury.....	37
4.6.2 Vyhodnocení mikrostruktury.....	39
4.6.3 Měření velikosti karbidů v ZM.....	40
4.6.4 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti dle Vickerse.....	41

5 ZÁVĚRY	43
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	

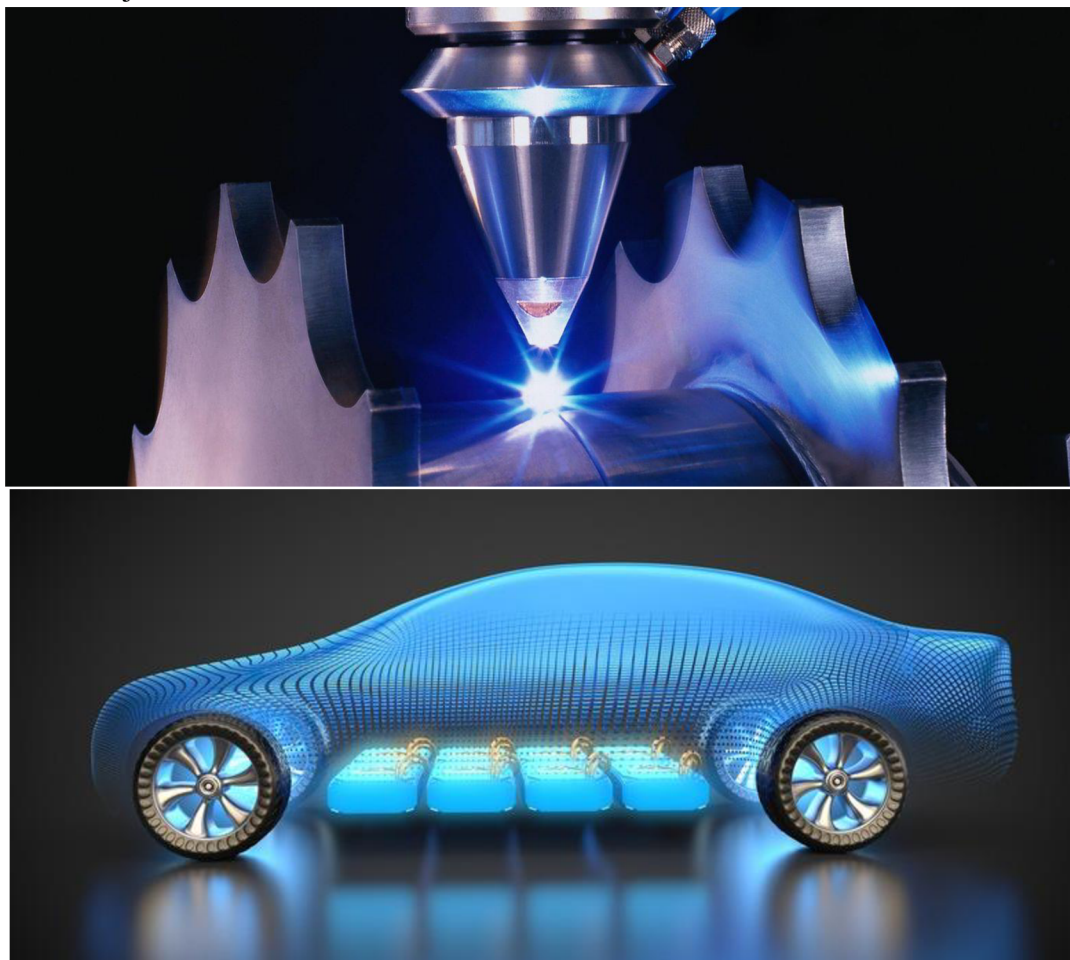
ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Technologie svařování patří mezi nejstarší a neznámější technologie spojování materiálu. První předměty pocházejí z doby bronzové, kde pomocí tlakových spojů zhotovovali zlaté kruhové krabice. S objevením nových kovů, a tedy i s příchodem doby železné, rostly také větší nároky na svaření kvůli teplotě tání železa, která je přibližně o 500 °C vyšší oproti zlatu. Během této doby se Egypťané a lidé z východního Středomoří naučili svařovat kusy železné slitiny dohromady. Ve středověku s příchodem kovářství byla železná slitina spojována kladivem, jednalo se o tzv. kovářské svařování. Teprve v 19. století bylo vynalezeno svařování, jak ho známe dnes.

Dnešní doba se příliš nepotýká s problémy nových prvků a jejich svařitelností, jak tomu bylo dříve, ale s rostoucími nároky na ušlechťování a vznikem nových slitin, kde roste nejen procento uhlíku, ale i ostatních legujících prvků.

Kobaltové slitiny kombinují vynikající mechanickou odolnost proti opotřebení zejména při vysokých teplotách s velmi dobrou odolností proti korozi. Mohlo by se zdát, že obsah uhlíku, který se u některých druhů blíží až k 2,5 %, je největším problémem. Příčinou však je nedostatek kobaltu, s kterým roste jeho cena a využití pro výrobu lithium iontových baterií převážně pro automobilový průmysl. Bohužel ve slitině tvoří nenahraditelnou složku kvůli jeho polymorfnímu chování. Je tedy nutné hledat úsporu tohoto vzácného kovu ve stávajících aplikacích.

Možnou technologii laserového svařování slitin a použití kobaltu v automobilovém průmyslu ukazuje obr. 1.



Obr. 1 Laserové svařování a primární využití prvku. [7], [8]

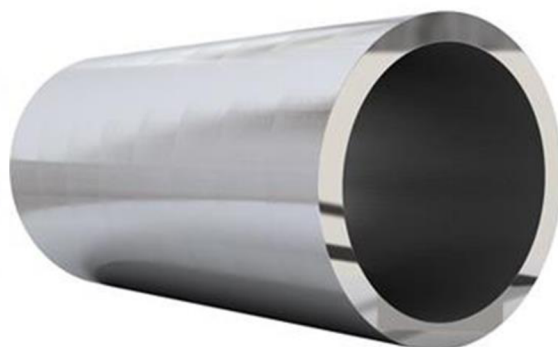
1 APLIKACE KOBALTU [9], [4], [5], [10], [11]

Vlastnosti těžkého kovu jsou známy již celá tisíciletí. Ve sloučenině byl využíván Egypťany a Babylóňany pro modré barvení keramiky, skla a glazur. Dnes se jeho využití zužuje právě kvůli jeho nedostatku. Aplikace vzácného kovu mohou být rozděleny do dvou hlavních oblastí:

- Primární využití tvořící více jak polovinu globální poptávky kobaltu nalezneme v chemickém průmyslu. Především ve výrobě kovových katod a kobaltových solí pro dobíjení Li-ion baterií (obr. 2) používané v elektromobilech, notebookech a mobilech. Vlastnosti prvku umožňují zvýšit kapacitu baterií, což by mohlo být odpovědí na rostoucí znečištěné ovzduší v Číně. Ostatní aplikace v tomto odvětví nalezneme v petrochemických katalyzátorech, keramických pigmentech a dokonce v radiálních pneumatikách, kde při jejich výrobě jsou komplexní kobaltové soli začleněny do pryžové horniny a zlepšují adhezi mezi pryží a kovovou výztuží. Za účelem zrychlení sušení je kobaltová sůl přidávána do olejových barev a laků.
- Sekundární využití nalezneme v metalurgickém odvětví. Zde jsou využívány pro jeho mechanické vlastnosti. Klíčové jsou pro výrobu super-slitin (obr. 3), kde kobalt tvoří hlavní složku. Tyto slitiny jsou dále zpracovávány a používány např. pro povrchové úpravy vysoce namáhaných součástí v ropném, plynovém a také v energetickém průmyslu. Další využití nalezneme při výrobě magnetů, rychlořezné oceli, karbidových a diamantových nástrojů.



Obr. 3 Li-on baterie [11]



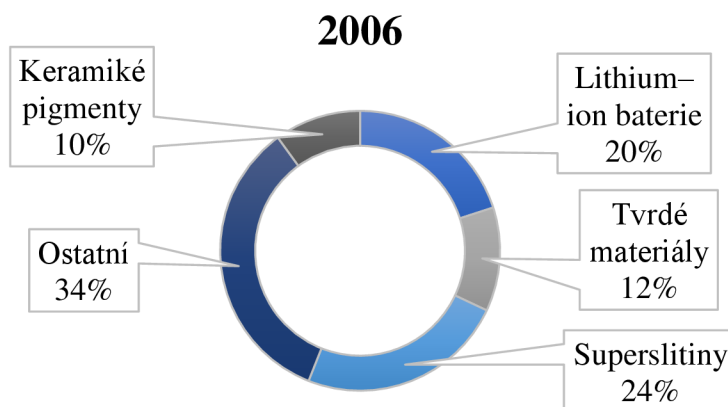
Obr. 2 Polotovár ze super-slitiny. [11]

1.2 Rozsah použití [6], [4], [5], [12], [4]

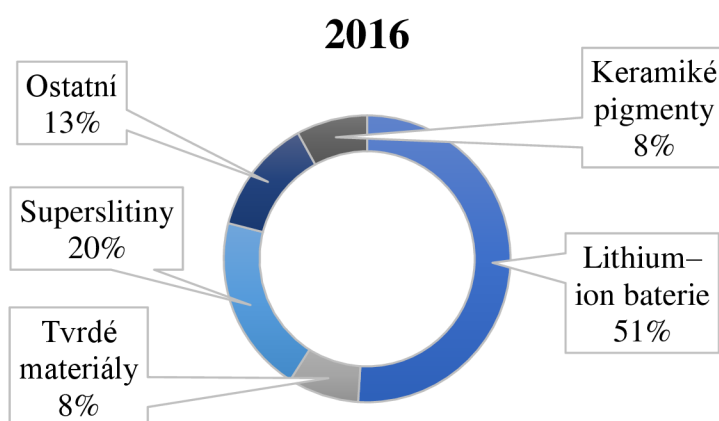
Rozsah používání kobaltu v minulých letech a předpoklad pro následující roky je znázorněn níže. V roce 2006 (obr. 4) byla spotřeba těžkého kovu rovnoměrná, pro lithium – ion baterie se využívalo pouze 20 %. Po 10 letech (obr. 5) se spotřeba pro tuto oblast zvýšila o 31 %. Celková produkce kobaltu v roce 2017 činila zhruba 100 000 t/rok. V tomto roce (2018) je analytiky očekáván deficit přibližně 885 t. V roce 2020 (obr. 6) už bude chybět 5340 t. Při srovnání využívání této suroviny s jeho nedostatkem činí cena 605,85 Kč/kg. Vysoký nárůst spotřeby u lithiových baterií je způsoben automobilovým průmyslem a jak vývoj naznačuje, v budoucnu bude z ostatních oblastí téměř vytlačen.

Čínským státním úřadem rezerv, který zajišťuje komoditní zásoby od nafty k vzácným kovům, je tento nerost zkupován v obrovském rozsahu. Americkou obrannou agenturou byla sloučenina lithium – kobalt oxid označena za strategickou a od roku 2014 jej těž shromažďuje.

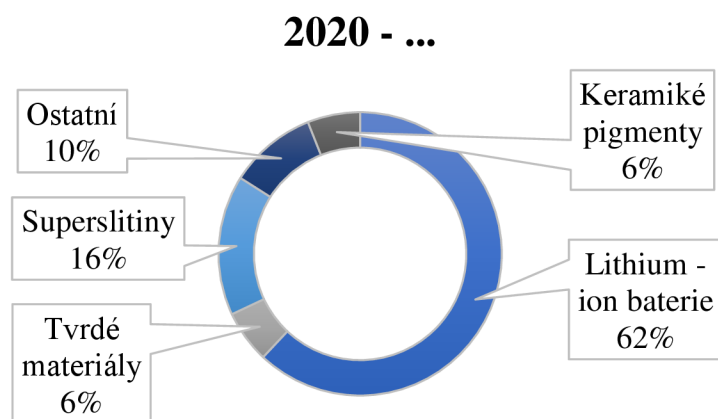
Celkový globální kobaltový trh se stává nejvíce závislý na dodávkách z Demokratické republiky Kongo, kde je získáváno největší množství kobaltu. Jeho dodávky jsou však nestálé kvůli místnímu režimu.



Obr. 4 Spotřeba kobaltu v roce 2006. [4]



Obr. 5 Spotřeba kobaltu v roce 2016. [4]



Obr. 6 Spotřeba kobaltu od roku 2020. [4]

2 KOBALTOVÉ SLITINY [5], [3]

Kobaltové slitiny jsou rozděleny do několika oblastí dle typu použití. Vlastnosti jsou ovlivňovány legujícími prvky, zejména uhlíkem. Chemické složení vybraných slitin nalezneme v tab. 1, zbytek vybraných slitin je uveden v příloze 1. Obvykle jsou tyto slitiny používány za vysokých teplot, při kterých téměř nemění svoje vlastnosti. Základ chování této slitiny určuje krystalografická struktura kobaltu, která má vliv především na odolnost při mechanickém namáhání. Tvorbu tuhého roztoku posilují účinky chromu, wolframu a molybdenu. Tvorba karbidů a korozní odolnost je dána obsaženým chromem.

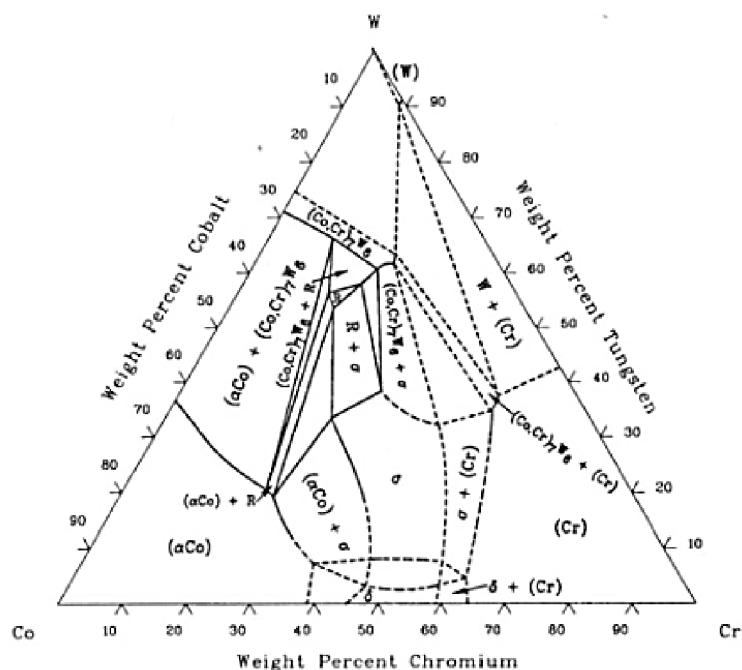
Obecně platí, že tužší a měkčí kompozice jsou pro použití ve vysokých teplotách, to zahrnuje např. lopatky plynových turbín. Tvrdší slitiny jsou určeny pro aplikace s vyšším mechanickým opotřebením. Každá z těchto slitin má určitý standard odolávat mechanickým, korozním a vysokoteplotním vlivům. Existuje však více činitelů způsobujících korozi nebo více druhů erozivního opotřebení, proto je potřeba správná volba slitiny dle druhu podmínek, ve kterých bude použita.

Tab. 1 Chemické složení vybraných slitin. [5]

Název	Chemické složení slitiny hm. %									
	Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si	Mn	Ostatní
Stelit 6	Bal.	29	4,5	1,2	<3	1,5	<3	<1,5	<1	–
Stelit 21	Bal.	27	–	0,25	2,75	5,5	<3	<1	<1	<0,007 B
Stelit 25	Bal.	20	15	0,1	10	–	<3	<0,4	1,5	–
Haynes 188	Bal.	22	14	0,1	22	–	<3	0,35	1,25	0,03 La
Ultimet	Bal.	26	2	0,06	9	5	3	0,3	0,8	0,08 N
MP35N	35	20	–	–	35	10	–	–	–	–

2.1 Historie a vývoj [5]

Mnoho komerčních slitin, které zkoumal na přelomu století Elwood Haynes, je odvozeno z ternárního systému Co–Cr–W (obr. 7) a Co–Cr–Mo. Elwood Haynes objevil vysokou pevnost a odolnost proti korozi u binární slitiny Co-Cr a později zesilující účinek prvků Mo a W. Slitina zachovávala pevnost i za zvýšených teplot, proto podporoval použití pro řezné nástroje. Po úspěchu nástrojů z kobaltové slitiny během první světové války, byla v roce 1922 na povrch navařena vrstva kobaltové slitiny pro ochranu proti opotřebení. Jednalo se tedy o první povrchovou úpravu touto slitinou, která byla následně aplikována na sedla ventilů, vnitřních ventilech u spalovacích motorů atd. V raných čtyřicátých letech byla tato slitina modifikována a vytvořena slitina Co-Cr-Mo s nízkým obsahem uhlíku, která byla určena pro dentální implantáty. Dnes je tento biokompatibilní materiál (obchodní název Vitallium) používán pro chirurgické implantáty. Stejná slitina byla později zkoumána pro použití při výrobě lopatek do leteckých turbokompresorů. S následnými úpravami pro zvýšení strukturální stability byla používána pro tyto a jiné aplikace při vysokých teplotách. Tento první materiál odolávající vysoké teplotě je nazýván Stelit 21 a je používán dodnes pouze pro jeho odolnost vůči opotřebení.



Obr. 7 Ternární systém Co–Cr–W. [5]

2.2 Otěru–vzdorné slitiny [5], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Od původních slitin se liší především regulováním žádoucích prvků uhlíku a křemíku. Zmíněné prvky byly považovány za nečistoty při výrobě původních slitin. Odolávají různým druhům mechanického opotřebení např. abrazivnímu, erozivnímu a kluznému opotřebení.

Tento druh slitin je používán např. pro výrobu řezných nástrojů. Nástroji je možné obrábět ocel, litinu s lupínkovým grafitem, bronz atd. Nástroje z rychlořezné oceli oproti nástrojům z kobaltových slitin vykazují větší tvrdost za pokojových podmínek, při zahřátí však svoji tvrdost ztrácí. Zatímco kobaltové slitiny zachovávají stále stejné vlastnosti i za zvýšené teploty a mohou být použity i při vyšších řezných rychlostech. Zde se uplatňují slitiny jako Stelit 100 a Tantung G, Tantung 144, jejichž složení je popsáno v příloze 1. Nejpoužívanějšími slitinami z této oblasti jsou:

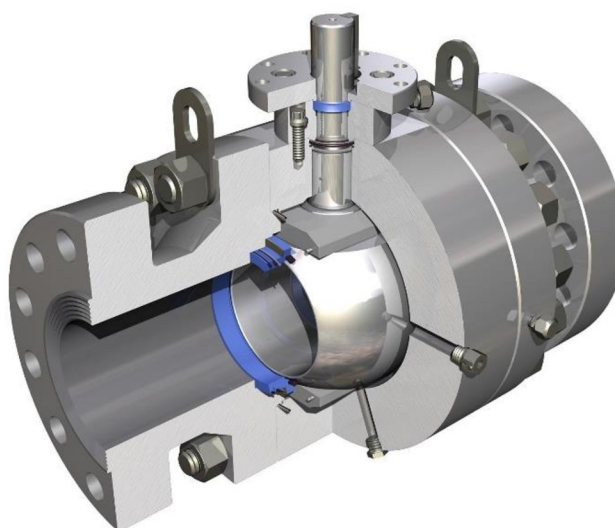
- Stelit 6 – patří mezi nejrozšířenější slitinu vůbec. Je považován za průmyslový standard v možných použitích proti opotřebení, které zahrnuje chemickou a mechanickou degradaci. Zachovává přiměřené mechanické vlastnosti až do teploty 500 °C. Díky vlastnostem zahrnující dobrou obrobitelnost se slitina uplatňuje v ropném, plynárenském, automobilovém a energetickém průmyslu. Konkrétně pro výrobu hřídel, ložisek čerpadel, kontaktních ploch průmyslových ventilů (sedla), ventilů spalovacích motorů (obr. 8). Slitina je dostupná ve formách hutních polotovarů (tyče) nebo drátů, elektrod a prášků pro povrchové úpravy.
- Stelit 21 – dříve byla tato slitina známa jako Stelit 8. Slitinová matrice obsahovala CoCr a byla odolná proti korozi. Rychlé uplatnění našla v aplikacích jako jsou biokompatibilní implantáty kyčle nebo slitiny zubních protéz. Tyto původní aplikace Stelitu 21 jsou realizovány i v dnešní době, jednou z nich je např. lékařská slitina ASTM F–75. Jako jedna z prvních tepelně odolných slitin byla použita v proudových motorech. Současná matrice CoCrMo této slitiny obsahuje dispergované tvrdé karbidy posilující slitinu a zvyšující tvrdost. Mechanické

vlastnosti jsou ovlivňovány tepelnou a mechanickou historií zpracování této slitiny, tedy její výrobou a následnou možnou tepelnou úpravou. Nízký podíl karbidů zapříčiňuje velkou odolnost matrice proti opotřebení a dobré korozní vlastnosti. Stelit má vysokou odolnost proti otěru a kluznému opotřebení kov – kov. Nedoporučuje se použití jako abrazivního materiálu kvůli odírání pevnými částicemi. Při volbě tohoto kovu je nutné brát velký ohled na použití a typ zpracování vzhledem k jeho náchylnosti. Dominuje totiž vysokou odolností proti tepelným a mechanickým nárazům. Je doporučován pro aplikace zahrnující kavitaci, erozi, korozi, vysoké teploty. Používá se např. jako ventilová úprava v petrochemii (obr. 9).

Mechanické a fyzikální vlastnosti uvedených slitin nalezneme v tab. 2.



Obr. 8 Sedla ventilů spalovacích



Obr. 9 Petrochemický ventil. [18]

Tab. 2 Mechanické a fyzikální vlastnosti otěru–vzdorných slitiny. [15], [13]

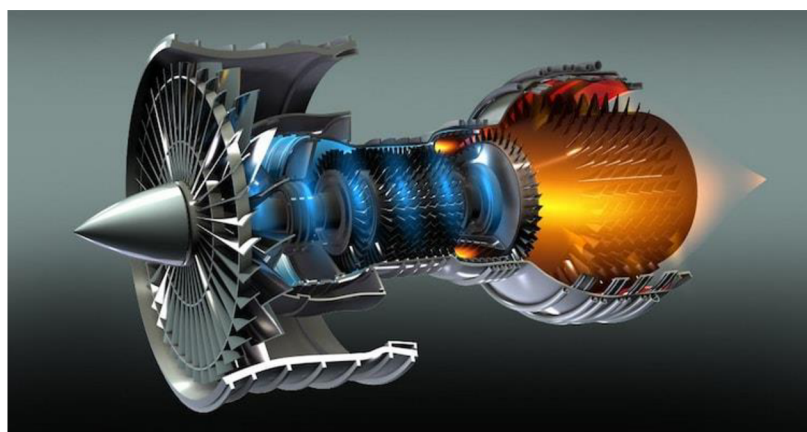
Název	Tvrdość [HV10]	Hustota [g/cm ³]	Rozsah tání [°C]	Mez pevnosti Rm [MPa]
Stelit 6	380-490	~ 8,44	1285–1410 °C	~ 790
Stelit 21	290-430	~ 8,33	1295–1435 °C	~ 710

2.3 Žáru–vzdorné slitiny [5], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [24]

Největším odběratelem žáru–vzdorných slitin byl průmysl pro výrobu plynových turbín. Požadavky na materiál pro letecké proudové motory byly přiměřená tvrdost za vysokých teplot, odolnost vůči tepelné únavě a oxidaci. Pro turbíny v energetickém průmyslu, které spalují méně kvalitní palivo a pracují v nižších teplotách, byl kladen důraz na odolnost proti sulfidaci. Větší účinnost při spalování fosilních paliv, odpadů a nově vyvíjených chemických procesů, způsobuje různorodost použití pro dané účely. Oproti niklovým slitinám nejsou tyto kompozity rozsáhle používané. V některých oblastech stále hrají důležitou roli, kvůli jejich odolnosti proti sulfidaci, zachování pevnosti za vysokých teplot, kterým slitiny niklu a jejich fáze gama a gama prime nedokážou odolávat. Jak již bylo zmíněno do tohoto druhu slitin dříve spadala slitina stelit 21. Žáru–vzdorné slitiny na bázi kobaltu jsou typické častějším obsahem wolframu než molybdenu, mírným obsahem chromu a niklu, nízkým obsahem uhlíku a přídavkem kovů vzácných zemin (Al, Ti, Ni, B, Zr, La). Nejrozšířenějšími slitinami z této oblasti jsou:

- Stelit 25 neboli L605 (HAYNES 25) – tato slitina je používána pro aplikace, kde je vyžadována mírná pevnost a vysoká odolnost proti oxidaci za vysokých teplot. Díky vysokému obsahu chromu odolává také korozi způsobené kyselinami, jako jsou kyselina chlorovodíková a kyselina dusičná. Vyznačuje se zachováním pevnosti do teploty 816 °C a odolností proti oxidaci do teploty 1093 °C. U produktů, které nejsou v nepřetržitém provozu, je oxidační odolnost pouze do 871°C. Dobrá odolnost vůči horkému žíravému prostředí umožňuje použití v tryskových motorech (obr. 10). Kromě leteckého a kosmického průmyslu se dále uplatňuje v plynových turbínách nebo v některých vojenských aplikacích. V moderních motorech ji z velké části nahradila HAYNES 188. Dostupnost slitiny je například ve formě plechů, svitků, tyčí, drátů ale i svářecích drátů nebo elektrod.
- HAYNES 188 – slitina nahrazuje Stelit 25 (HAYNES 25), která je uvedena výše. Má vysokou odolnost proti otěru a proti oxidaci při teplotách do 1150 °C. Vylepšená odolnost proti oxidaci je výsledkem přidání chromu s kombinací lanthanu, který vytváří při teplotách přes 1150 °C houževnatou oxidovou vrstvu. Vynikající pevnost společně s odolností proti oxidaci zachovává do teploty 1093 °C. Dobře funguje v nepřetržitém provozu. Udrží tvárnost i při kryogenních teplotách, úroveň pevnosti je však výrazně zvýšena. Aplikují se ve vojenských a komerčních tryskových motorech, dále pro různé součásti hořáků (obr. 11), výrobu spalovacích komor atd. Slitina je dostupná ve formě plechů, svitků, tyčí, a svářecích drátů.

Mechanické a fyzikální vlastnosti uvedených slitin nalezneme v tab. 3



Obr. 10 Tryskový motor. [24]



Obr. 11 Hořáky raketoplánu. [25]

Tab. 3 Mechanické a fyzikální vlastnosti žáru–vzdorných slitiny. [23], [21]

Název	Tvrdot [HV 10]	Hustota [g/cm ³]	Rozsah tání [°C]	Mez pevnosti Rm [MPa]
Stelit 25	238–446	~ 8,31	1330–1410 °C	~ 925
HAYNES 188	290–430	~ 9,14	1300–1330 °C	~ 963

2.4 Korozi–vzdorné slitiny [5], [26], [27], [28], [29], [30], [31]

Korozi–vzdorné slitiny jsou navrhovány, aby odolávaly korozím způsobeným kapalinami. Jejich odolnost je však omezena kvůli srážení karbidů na hranicích zrn. Dále jsou to nedostatky legujících prvků v matici nebo chemická segregace u odlévaných a povrchově upravovaných materiálů.

Na základě homogenní mikrostruktury a nízkého obsahu uhlíku jsou tvářené žáru–vzdorné slitiny více odolné proti korozi způsobené tekutinami. Jejich použití však stále klesá z důvodu korozní odolnosti Ni-Cr-Mo slitin. Pro průmyslovou potřebu, která vyžaduje vysokou odolnost proti korozi způsobené kapalinami, zároveň odolnost proti různým druhům opotřebení a

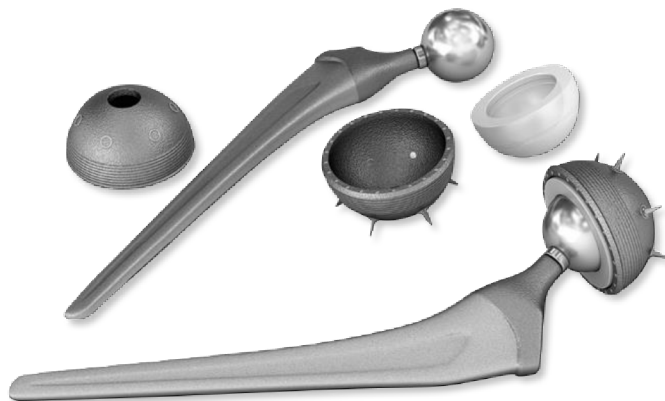
zachování vysoké pevnosti je produkována nízkouhlíková slitina Co-Ni-Cr-Mo. Molybden způsobuje větší odolnost proti působení různých druhů korozních médií. Kvůli teplotně ovlivněné zóně během svařování, je u těchto slitin hlídán obsah C. Často používanými slitinami jsou:

- Ultimet slitiny – nízkouhlíkové slitiny, které nemají žádné intragranulární sraženiny ani sraženiny na hranicích zrn. Řídká disperze nitridů je však na struktuře viditelná. Slitina je určena k řešení některých chronických problémů z důvodu degradace materiálu způsobené kombinovanými účinky koroze a opotřebení. Odolává lokální korozi (děrové, štěrbinové) v agresivním prostředí a vykazuje dobrou odolnost proti opotřebení, jako je odírání, eroze kalu a kavitace. Vykazuje vysokou pevnost v tahu srovnatelnou s mnoha duplexními nerezovými oceli. Z hlediska odolnosti proti opotřebení se chová jako slitiny STELIT s nízkým obsahem uhlíku. V korozní odolnosti má vlastnosti podobné jako slitiny HASTELLOYS. Používají se pro díly, kde je potřeba kombinace odolnosti proti opotřebení, korozi a vysoké pevnosti v tahu. Konkrétně se tato slitina nachází u mixérů, šroubů (obr. 12), extrudérů, šnekových dopravníků atd.
- MP35N – společně se slitinou M159 patří do MP slitin. Mezi jejich vlastnosti patří kombinace vysoké pevnosti, tažnosti a odolnost proti korozi, včetně napětovým korozním prasklinám. Vysokou pevnost zapříčiňuje tuhá fázová transformace části matrice s fcc strukturou na strukturu hcp při zpracování za studena. Tuto transformaci zapříčiňuje vysoký obsah kobaltu a je nazývána tzv. „multifázová reakce.“ Díky dvěma krystalovým strukturám je znemožněn pohyb dislokací, což vede k posílení tuhého roztoku. Následným vytvrzováním stárnutím jsou tyto dvě fáze stabilizované. Konkrétně slitina MP35N odolává různým korozním činidlům jako jsou minerální kyseliny (dusičné, chlorovodíkové, sírové), mořská voda, chloridové roztoky, sirovodíky atd. V mořské vodě je imunní vůči všeobecné korozi jako je štěrbinová a napětová, bez ohledu na úroveň pevnosti či procesní podmínky. Používá se pro výrobu upevňovacích prvků v lodním, leteckém, lékařském a ropném průmyslu. V aplikacích pro hřídele důlních ropných čerpadel, chirurgické implantáty (obr. 13), pružiny atd.

Mechanické a fyzikální vlastnosti uvedených slitin nalezneme v tab. 4.



Obr. 12 Šrouby z Ultimet slitiny. [29]



Obr. 13 Chirurgické implantáty. [30]

Tab. 4 Mechanické a fyzikální vlastnosti korozi-vzdorných slitiny [26], [28]

Název	Tvrdość [HV 10]	Hustota [g/cm ³]	Rozsah tání [°C]	Mez pevnosti Rm [MPa]
Ultimet slitiny	296	8,47	1332–1354 °C	1014
MP35N	372–528	8,43	1315–1440 °C	793–1000

2.6 Kobalt [32], [33], [34], [9], [6], [35]

Kobalt (obr. 14) je charakterizován lesklým, šedým vzhledem s vysokou pevností a tvrdostí. V čisté podobě se v přírodě samostatně nevyskytuje. Vždy je nalézán v přítomnosti niklových nebo sulfidických rud olova a mědi. Obsah tohoto nerostu se v zemské kůře pohybuje pod 0,01 % hmotnosti. Jeho nedostatek dokazují geologická ložiska uvedená níže. Důležité rudy jsou smaltin, linnaeit, carrollit, kobaltin, pro průmyslovou výrobu jsou nejvýznamnější heterogenit, erytrit.

Z uvedených důvodů je nejčastěji extrahován jako vedlejší produkt niklu a mědi. Většina světové produkce kobaltu pochází ze zemí jako Demokratická republika Kongo, Zambie, kde je kobalt vedlejším produktem těžby mědi. V Kanadě, Rusku a Austrálii je kobalt vyráběn hlavně jako vedlejší produkt těžby niklu. Pro získávání vzácného kovu jsou využívány tři geologická ložiska:

- Hydrotermální ložiska – jedná se o ložiska vytvořená z hydrotermální tekutiny, která reagovala s různými mafickými a ultramafickými horninami nebo vznikla pomocí sedimentačních nánosů.
- Magmatické ložiska – sulfidy obsažené v magmatu vnikly jako sraženiny z magmatu buď z tekoucí lávy, nebo v magmatických komorách především na počátku historie Země. Koncentrace mědi a niklu s vedlejším produktem kobaltu (0,04–0,08%) je přítomna v mafických a ultramafických magmatách. Tyto magmata jsou charakterizována nízkým obsahem křemíku, alkálií a vysokým obsahem hořčíku.
- Laterit – v tomto geologickém ložisku je uloženo 70 % světových zdrojů a zahrnuje 40 % produkce niklu. Obsahuje také značné množství kobaltu a to 0,025 %–0,18 %. Ložiska vznikla zvětráváním ultramafických hornin v tropických a subtropických prostředí.

Budoucí, doposud nevyužívaný, zdroj kobaltu se nachází na dně oceánu ve formě škraloupů a uzlin.



Obr. 14 Kobalt. [34]

2.5.1 Výroba kobaltu [5], [35], [36]

Kvůli rozmanitým sloučeninám, se kterými je kobalt vázán, se liší také jeho výroba. Pro výrobu a úpravu kovu používáme – hydrometalurgické, pyrometalurgické, vapormetalurgické a elektrolytické procesy. Téměř polovina globální produkce je získávána vyluhováním lateritu nesoucí nikl (obr. 15) nebo tavením niklových lateritů, sulfidických rud. Zbylá část pochází ze sulfidu mědi nebo oxidových rud. Získávání čistého kovu dle typu sloučeniny:

- Sulfidy mědi – jsou zpracovávány pražením pomocí sulfátových pecí s fluidním ložem, aby došlo k přeměně kobaltových a měďných sulfidů do rozpustných oxidů a železo do nerozpustného hematitu. Následně jsou rudy louhovány v kyselině sírové. Vzniklý roztok je následně zpracováván elektrolýzou. Železo a hliník jsou z roztoku vyloučeny a měď je elektroda na měděných katodách. Po získání katod se ve vyčerpaném elektrolytu nachází kobalt spolu s jinými nečistotami (Fe, Ni, Zn, Cu). Nečistoty se odstraní a kobalt je následně vysrážen v podobě hydroxidu pomocí vápna. Čistý kov tedy může být získán z této elektrolýzy předtím, než je rozdrčen a odplynován. Stejným způsobem se zpracovávají i arsenové rudy.
- Sulfidy niklu – jeden ze způsobů zpracování se nazývá tzv. Sherritt Gordon proces. Koncentrát obsahující méně než 1 % kobaltu a 30 % síry je luhován za vysokého tlaku a zvýšené teploty v roztoku amoniaku. Měď je vysrážena v podobě sulfidu a roztok je pro vznik niklového prášku za zvýšené teploty a tlaku redukován vodíkem. Selektivními redukčními procesy je zbylý roztok obsahující přibližně stejné množství kobaltu a mědi získán vysrážený prášek o čistotě 99,6 % Co.
- Oxidy mědi – heterogenní minerál z otevřených dolů nesoucí vzácný kov je rozdrčen a rozemlet před seskupením pomocí pěnové flotace. Rozemletá ruda suspenduje do kapalného média, kterým se fouká vzduch. Kapalně medium, do kterého jsou přidávány pěnivé a povrchově aktivní látky, oddělí žádoucí cenný minerál od nežádoucího. Oxidy bohaté na kobalt se následně spékají do pelet, které jsou následně zpracovávány v tavicích pecích. Získaná slitina je dále zpracovávána hydrometalurgickým procesem.

- Lateritové rudy – z měděných nebo niklových rud může být čistý kobalt získáván pomocí hydrometalurgických nebo pyrometalurgických technik. Obě tyto metody používají pro vyluhování roztoky kyseliny sírové nebo amoniak.



Obr. 15 Těžba lateritu nesoucího nikl. [36]

2.5.2 Vlastnosti kobaltu a jejich vliv na slitinu [5], [35], [32], [33]

Prvek s atomovým číslem 27 se v periodické tabulce prvků nachází mezi niklem a železem. Je polymorfní tzn. s teplotou mění krystalovou strukturu. Do teploty 1000 °C je feromagnetický, tyto vlastnosti potom ztrácí a stává se paramagnetickým. Za normálních podmínek s vodou ani se vzduchem nereaguje, při jemném rozptýlení je stejně jako železo pyroforický, tedy samozápalný na vzduchu. Ostatní vlastnosti kovu jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Základní vlastnosti kobaltu. [32]

Český název:	Kobalt
Latinský název:	Cobaltum
Anglický název:	Cobalt
Chemická značka	Co
Relativní atomová hmotnost: [-]	59,3332
Teplota tání: [°C]	1495
Hustota: [g·cm ⁻³]	8,9
Tepelná vodivost: [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	100
Tvrdoost dle Vickerse: [HV]	1043

Slitinám dodává nestabilní, kubicky plošně centrovanou mřížku fcc. Nestabilita spočívá v extrémně pomalém ochlazení elementárního kobaltu, který při teplotě 417 °C mění svoji krystalovou strukturu z fcc na hcp tj. hexagonální mřížku. U většiny slitin je tato teplota o něco vyšší. Kvůli pomalé transformaci je přeměna fcc struktury na hcp, započata za pokojové teploty pomocí mechanického namáhání, nebo probíhá za zvýšené teploty i bez vnějšího namáhání. Nestabilní struktura a nízká energie vrstevnatých poruch způsobí:

- Vysokou mez kluzu.

- Vysokou rychlost vytvrzování.
- Omezené únavové poškození při cyklickém zatěžování.
- Schopnost absorbovat napětí.

První tři uvedené vlastnosti jsou považovány za důležité pro odolnost proti kluznému opotřebení. Vynikající odolnost proti kavitaci a erozní korozi kobaltových slitin je důsledek zbylých vlastností. Vliv ostatních legujících prvků nalezneme v tabulce 6.

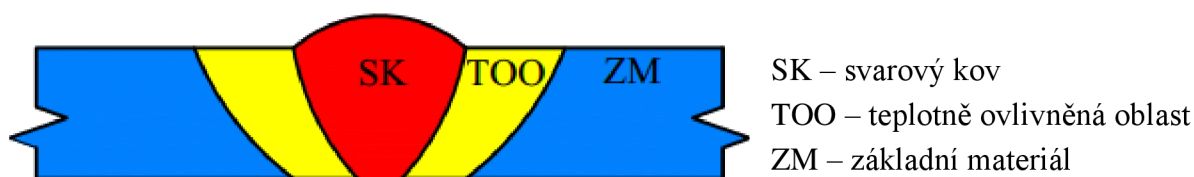
Tab. 6 Vliv ostatních prvků na slitinu. [5]

Prvek	Vliv
Cr	Oxidační a sulfidační odolnost, tvorba karbidů M_7C_3 a $M_{23}C_6$
Mo, W	Zpevnění tuhého roztoku, ve formě karbidů M_6C , intermetalická sloučenina Co_3M
Ta, Nb	Zpevnění tuhého roztoku, ve formě karbidů MC a M_6C , intermetalická sloučenina Co_3M
Al	Oxidační odolnost, intermetalická sloučenina $CoAl$
Ti	Tvorba karbidů MC , intermetalická sloučenina Co_3Ti
Ni	Stabilizuje fcc mřížku z matrice, intermetalická sloučenina Ni_3Ti
B, Zr	Zvýšení vrubové houževnatosti
C	Tvoří karbidy MC , M_7C_3 , M_6C , $M_{23}C_6$
Y, La	Oxidační odolnost

2.6 Svařitelnost kobaltových slitin [37]

Obecně je definována jako komplexní schopnost materiálu vytvořit nerozebíratelné spojení (obr. 16) pomocí svarové housenky s požadovanými vlastnostmi (mechanickými, fyzikálními, chemickými). Obvykle je vyžadována jakost, spolehlivost a dlouhodobá životnost. Svařitelnost je určována s ohledem na:

- Metalurgické vlastnosti – jsou vztahovány na základní materiál a jsou dány jeho výrobou, chemickým složením, tvářením a tepelnou úpravou.
- Konstrukční požadavky – vychází z pevnosti materiálu, vizuálního vzhledu, tvaru a tloušťky svaru a tuhosti spoje. Je zde také zahrnuta přístupnost a úprava materiálu, pro vytvoření vhodného spojení např. sražení hran, odmaštění ploch atd. U dynamicky namáhaných součástí je dobré se vyvarovat spojení v ostrých rozích a vrubech.
- Technologické požadavky – jsou zajištěny především volbou vhodné technologie, přídavného materiálu a svařovacím postupem.



Obr. 16 Schéma svarového spojení. [37]

2.6.1 Vliv jednotlivých prvků na svařitelnost [38], [5],

Kobalt je sám o sobě dobře svařitelný, pro tento účel se však v čisté podobě nepoužívá. Nepříznivý vliv na svařitelnost mají především legující přísady pro zlepšení mechanických vlastností slitiny. Na svařitelnost těchto slitin mají vliv prvky jako:

- Měď (Cu) – tento prvek ve slitinách obsažený není, ale může jím být kontaminován při svařování, např. použitím Cu podložky. Při styku s tímto prvkem roste nebezpečí praskání, dokonce i v teplotně ovlivněné oblasti (TOO).
- Chrom (Cr) – snižuje teplotní interval tuhnutí slitiny. Má schopnost vytvářet stabilní nitridy a oxidy, což vede ke snížení tvoření pórovitosti svaru. S uhlíkem vytváří karbidy chromu. Výsledkem je úbytek chromu v TOO a ovlivnění korozivzdorných vlastností v extrémně náchylných prostředích.
- Železo (Fe) – ve slitinách se vyskytuje pouze v malém množství, které výrazně neovlivňuje svařitelnost. S větším množstvím prvku roste náchylnost k trhlinám za tepla. Při svařování nebo navařování slitin např. ocelí prvky jako S a P tvoří sloučeniny s Fe a tvoří nízko tavitelná eutektika.
- Uhlík (C) – reaguje s karbidotvornými přísadami jako chrom, titan, železo a vytváří jejich příslušné karbidy. Ty mohou při překročení limitu způsobit trhliny za tepla.
- Mangan (Mn) – předchází vzniku trhlin za tepla a praskání. Zabraňuje tvoření nízko tavitelných eutektik tvorbou sloučenin s kyslíkem a sírou s vyšší teplotou tavení než železo. Z tohoto důvodu je přidáván dokonce do svařovacích elektrod.
- Křemík (Si) – stejně jako Mn minimalizuje vznik trhlin za tepla. Nepříznivý vliv je spojen s eutektickým tavením, které má nepříznivý účinek na svarový kov.
- Titan (Ti) a hliník (Al) – mohou být do svarového kovu přidány pro podporu stárnutí. Titan v malém množství pomáhá kontrolovat poréznost plynu. Hliník působí jako deoxidační činidlo. Vysoký obsah těchto dvou prvků může způsobit vznik trhliny za tepla.
- Bor (B) – výrazně ovlivňuje svařitelnost. Vysoká koncentrace způsobuje v SK a TOO extrémní náchylnost na vznik trhlin za tepla. Při výskytu tohoto prvku vyžaduje nutnost brát zřetel na vnesené teplo a napětí.
- Zirkon (Zr) – stejně jako bor je náchylný na tvoření trhlin za tepla. Oproti boru není tak náchylný, proto se ho může ve slitině vyskytovat větší množství.
- Síra (S) - ovlivňuje jak svarový kov (SK), tak TOO. Ke kontaminaci dochází v oblasti TOO, která je zahřátá nad prahovou teplotu a je ve styku s kovy obsahujícími síru. Síra se eliminuje pomocí zmíněných dezoxidačních činidel, jimiž jsou Si a Mn.

3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ [37], [39]

Většina svarů je vytvářena pomocí metalurgických pochodů, kde vlivem místního soustředění tepelné energie, dochází k roztavení základního a přídavného materiálu. Tomuto tavení podléhá nejen místo, kde je teplo soustředěno, ale také jeho okolí. Vzniká tak tepelná nestejnorodost ve svařovaném dílu. Je zde důležité dodávat koncentrovanou energii za co nejmenší čas kvůli tepelné vodivosti kovů, s kterým souvisí vznik TOO.

Navarování probíhá stejnými metodami jako svařování. Nejedná se o spojování dvou součástí, ale o nanášení přídavného materiálu na součást. Cílem navarování je doplnit chybějící kov nebo zvětšení objemu součásti pro zlepšení např. korozní odolnosti. Obvykle po této operaci následuje obrábění.

Různé technologie mají odlišné vlivy na vytvoření spojení a nelze používat jednu technologii pro všechny materiály. Špatná volba technologie může mít nepříznivé vlivy na strukturu materiálu, vznik vnitřních napětí a deformaci.

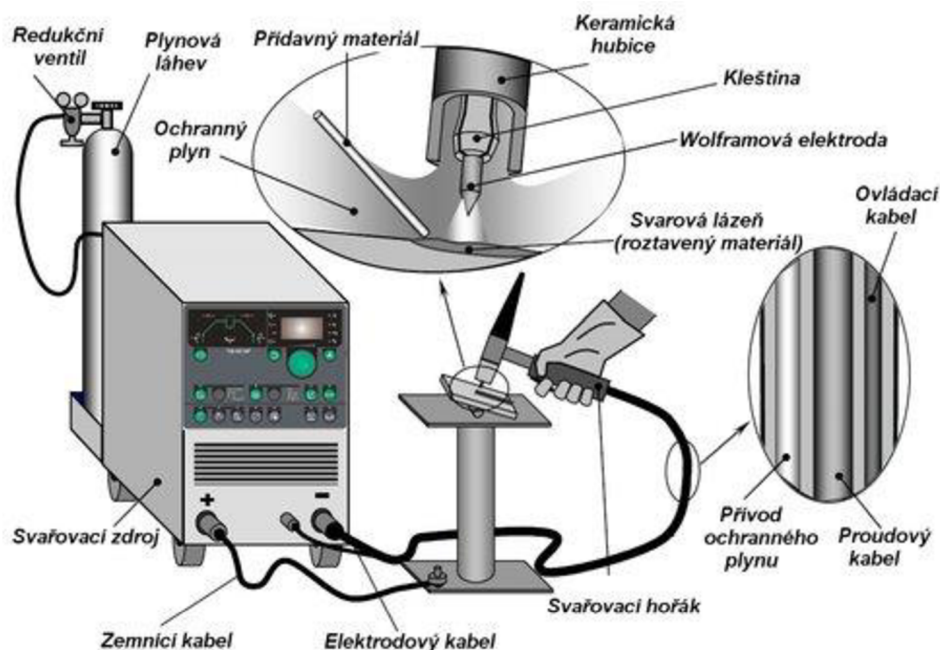
U kobaltových slitin jsou používány metody tavného svařování. Ke spojení tedy dochází již zmíněným soustředěním tepelné energie přes svarový kov.

3.1 Svařování metodou TIG / WIG [37], [39], [40], [41]

Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu, anglicky *Tungsten Inert Gas*, spadá do elektrického obloukového svařování v ochranných plynech.

Principem (obr. 17) je hořící oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Inertní plyn chrání svarovou lázeň, elektrodu i okolí svaru před nepříznivým vlivem okolní atmosféry. Především před kontaktem s kyslíkem a dusíkem, které způsobují křehnutí a vznik trhlin. Čistota inertního plynu musí dosahovat minimálně 99,995 % a používá se argon, helium nebo jejich směsi. Dle legujících prvků také rozlišujeme více druhů wolframových elektrod (tab. 7).

Svarová lázeň vzniká soustředěním energie na svarové plochy základního materiálu a odtavením potřebného množství přídavného materiálu, ta po ztuhnutí vytváří nerozebíratelné spojení. Tepelnou energii vytváří elektrický oblouk, do kterého je přiváděn nejčastěji stejnosměrný proud s konstantní velikostí, nebo proud pulzující s přímou polaritou. To je zejména z důvodu zajištění stabilního oblouku a dobrých svarových spojů u materiálů náchylných na tvorbu oxidové vrstvy s teplotou tavení nepatrně odlišné od teploty tavení základního materiálu. Střídavým proudem svařujeme hliník, hořčík a jejich slitiny a stejnosměrným materiály jakou jsou středně a vysokolegované oceli, měď, nikl, titan atd.



Obr. 17 Schéma svařování metody TIG. [40]

Tab. 7 Druhy wolframových elektrod. [41]

Onačení elektrody	Barva	Legování
WP	Zelená	Čistý wolfram 99,8 %
WT 10	Žlutá	Thorium 1 % ThO ₂
WT 20	Červená	Thorium 2 % ThO ₂
WT 30	Fialová	Thorium 3 % ThO ₂
WT 40	Oranžová	Thorium 4 % ThO ₂
WC 20	Sivá	Cer 2 % CeO ₂
WL 10	Černá	Lanthan 1 % LaO ₂
WL 15	Zlatá	Lanthan 1 % LaO ₂
WL20	Modrá	Lanthan 1 % LaO ₂
WZ 08	Bílá	Zirkon 0,8 % ZrO ₂

Výhody svařovací metody TIG:

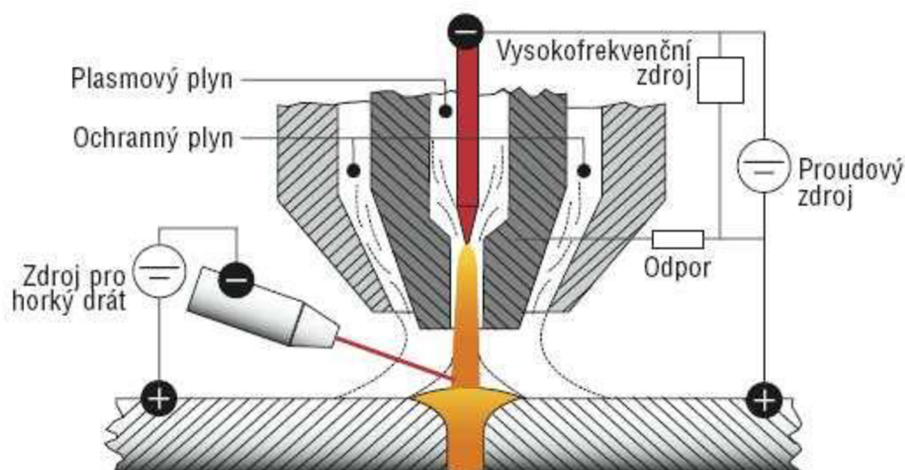
- Ochrana inertního plynu TOO, ZM, popřípadě přídavného materiálu před okolní atmosférou.
- Malá teplotně ovlivněná oblast s minimální deformací.
- Možnost svařování s přídavným materiálem, ale i bez.
- Velmi dobrý vizuální vzhled jak na povrchu, tak u kořene svaru.
- Stabilita elektrického oblouku.
- Přesné dávkování tepla související s dobrou viditelností na svarovou lázeň.
- Celistvost svaru u materiálu citlivých na oxidaci a naplnění za vyšších teplot.
- Dobrá ovladatelnost při různých svařovacích polohách.

3.2 Plazmové svařování [37], [39], [42], [43],

Základ této metody spočívá ve vytvoření plazmy pomocí tepelné nebo mechanické ionizace plynu při průchodu elektrickým obloukem (obr 18). V procesu ionizace jsou uvolňovány elektrony z vnějších valenčních orbitů atomů. Elektrony se záporným nábojem přenáší elektrický proud. Kladné elektrony jsou nazvány jako ionizované jádro atomu. Celý proces vyžaduje značné množství energie. Nejčastější používaný zdroj je elektrický oblouk, který je kontrahován a zvýšením teploty se dosáhne vyššího stupně ionizace.

Při použití dvouatomových molekul plynů (dusík, vodík, kyslík) musí proběhnout rozložení molekul plynu na atomy, jedná se o tzv. disociaci plynu. Úplná ionizace probíhá při teplotách kolem 10 000 K, její stupeň je tedy závislý na teplotě. Při svařovacím procesu jsou teploty podstatně nižší a plazma je ionizována pouze částečně. Teploty plazmy pro jednotlivá prostředí jsou znázorněny v tab. 8, ke kterým je doložen i graf závislosti entalpie plynu (obr. 19). Neionizovaná část plynu je chladnější a stabilizuje plazmový paprsek v ose hořáku, aby nedocházelo k dotyku mezi plazmou a stěnami trysky.

Paprsek plazmy taví spojované materiály v místě styku. Natavený svařovaný materiál je částečně vyfouknut z místa svaru, díky tomu proniká paprsek skrz základní materiál. To zapříčiní vznik kapiláry, která je vlivem povrchového napětí poté slita a tím vzniká svarový spoj s výborným provařením. V důsledku působení vyšších teplot musí být kovová tryska hořáku chlazená vodou nebo plynem.



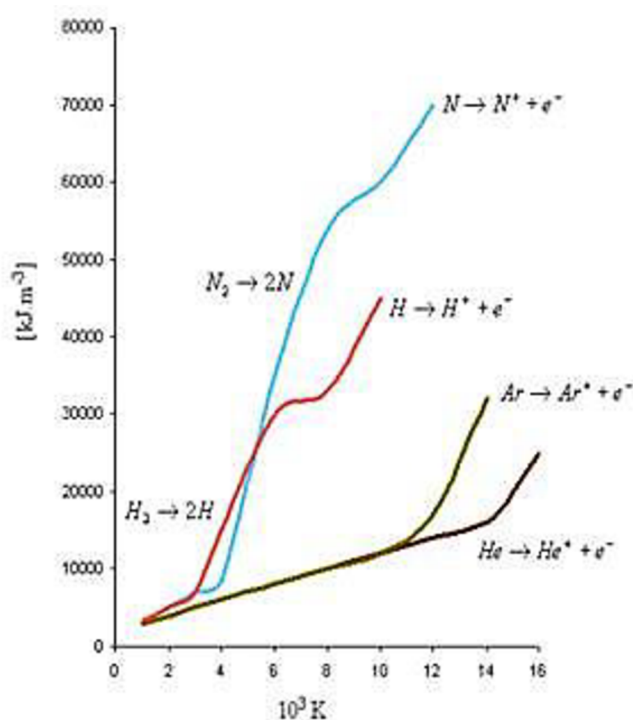
Obr. 18 Schéma plazmového svařovacího hořáku. [43]

Tab. 8 Teploty plazmy v používaných prostředích. [39]

Dusíková plazma [K]	do 9 000
Vodíková plazma [K]	10 000
Argonová plazma [K]	16 000
Héliová plazma [K]	20 000
Plazma stabilizovaná vodou [K]	Až 35 000

Výhody plazmového svařování:

- Jednoduchá úprava svarových ploch.
- Svařování bez podložení kořene.
- Velmi dobrý průvar i tvar svaru.
- Možnost mechanizace.
- Vysoká čistota svaru bez pórů a bublin.
- Dobré mechanické vlastnosti spoje.
- Možnost svařování střídavým i impulsním proudem.



Obr. 19 Závislost entalpie plynů na teplotě. [39]

3.3 Svařování elektronovým paprskem [37], [33], [42] [44]

Elektronové svařování (obr. 20) spadá do procesu tavného svařování. Principem je přeměna kinetické energie rychle letících elektronů na tepelnou při dotyku se svařovaným materiálem.

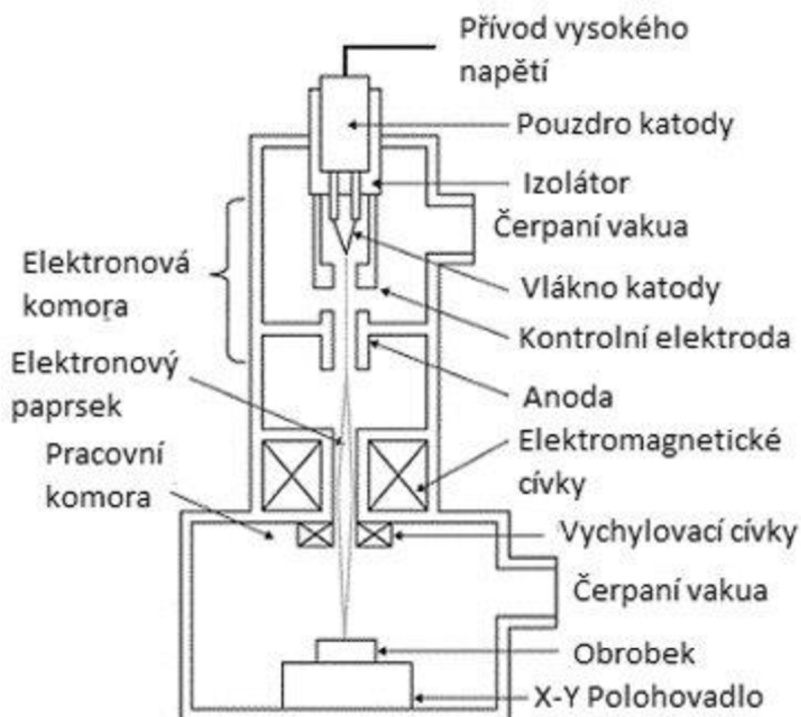
Zdrojem elektronů je válcová vakuová nádoba nazývaná elektronové dělo, nebo elektronová tryska. Na jedné straně je opatřena přímo nebo nepřímo žhavenou emisní elektrodou a na straně druhé oddělovacím uzávěrem kombinovaným s hranolem pozorovací optiky. Vysoké vakuum až $5 \cdot 10^{-4}$ Pa je dosaženo pomocí rotační nebo difuzní vývěvy. Pro rychlejší dosažení vakua je u některých zdrojů použita vývěva turbomolekulární. Celý proces svařování probíhá ve vakuu, a to z důvodu zajištění termoemise elektronů, tepelné a chemické izolace katody a zamezení vzniku oblouku mezi elektrodami. Kvůli možnému zpomalování elektronů a jejich vychýlení z přímého směru také zamezení srážkám elektronů s molekulami vzduchu. Svařovaný materiál je umístěn do vakuové komory. Pohyb je zajištěn programovatelným polohovadlem s několika stupni volnosti.

Elektrony se uvolňují z žhavé záporné katody (W, Mo, Te, Ta, Nb, pro nejvyšší výkony LaB₆) a zaostřovací elektrodou tzv. Wehneltovou clonou jsou od elektrody odtaženy. Pomocí magnetických polí je svazek elektronů fokusován do místa dopadu z důvodu rozbíhavosti vlivem odpuzivých sil mezi záporně nabitými elektrony. Vychylovací systém směřuje paprsek do místa svaru a slouží k zaměření svazku na svarovou spáru před svařováním. Po dopadu elektronů na povrch materiálu dochází k odrazu až 70 % elektronů. To zapříčiní vznik RTG a tepelného záření. Kov je zahřát na teplotu varu a stejně jako u předchozích metod je vytvořena úzká kapilára vyplněná parami kovů o nízkém tlaku, který s reakční silou udržuje taveninu na stěně kapiláry. Rozdílem povrchového napětí se tavenina přemísťuje za pohybujícím se elektronovým paprskem a vytváří svarový spoj.

Svařitelnost kobaltu s ostatními materiály je uvedena v tab. 9.

Výhody svařování elektronovým paprskem:

- Pěkný vizuální vzhled a kvalita svaru.
- Úzká natavená a teplotně ovlivněná zóna.
- Malá deformace.
- Možnost svařovat i větší tloušťky bez potřeby přídavného materiálu na jeden průchod paprsku.
- Možnost použití rozsáhlého sortimentu materiálu.



Obr. 20 Schéma svařování elektronovým paprskem. [44]

Tab. 9 Svařitelnost materiálů v kombinaci s kobaltem. [39]

1–zaručeně svařitelné, 2 až 4–podmínečně svařitelné, 5–nesvařitelné

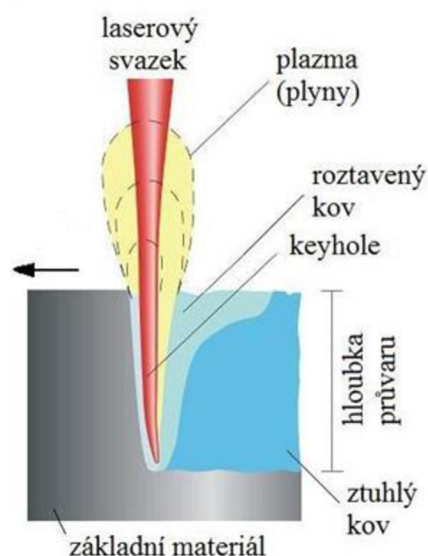
	Ag	Al	Au	Be	Cd
Al	2				
Au	1	5			
Be	5	2	5		
Cd	2	5	5	4	
Co	3	5	2	5	3
Cr	2	5	3	5	3
Cu	2	2	1	5	5
Fe	3	5	2	5	3
Mg	5	2	5	5	1
Mn	2	5	5	5	3
Mo	3	5	2	5	4
Nb	4	5	4	5	4
Ni	2	5	1	5	3
Pb	2	2	5	4	2
Pt	1	5	1	5	5
Rh	3	4	4	5	4
Sn	2	2	5	3	2
Ta	5	5	4	5	4
Ti	2	5	5	5	5
V	3	5	3	5	4
W	3	5	4	5	4
Zr	5	5	5	5	3

3.4 Laserové svařování [5], [35], [45]

Z hlediska nejmenší spotřeby materiálu pro svařování i navařování se jako nejlepší jeví technologie laserového svařování. Literatura doporučuje pouze výše zmíněné metody, ty však v dalších letech při regulaci prvku už dostačovat nemusí. Snížení použití prvku je možné docílit nižší náklady na výrobu a ponechání prvku v užívaných oblastech.

Energie je stejně jako u předchozích metod zaostřena do úzkého svazku a opticky zaostřena do ohniska miniaturních rozměrů (obr. 21). Vysokou koncentrací energie vzniká vysoká teplota a vznik svaru v inertním plynu. Laser využívá energii koherentního monochromatického světelného paprsku.

V praxi se vyskytuje více druhů laserů, které však principiálně pracují na stejném základu. Dle typu aktivního prostředí se rozdělují na pevnolátkové, kapalně, plynné. Z tohoto důvodu je níže uveden princip pouze jednoho z nich.



Obr. 21 Tavení kovu laserovým paprskem. [45]

3.4.1 Pevnolátkové lasery [37], [39]

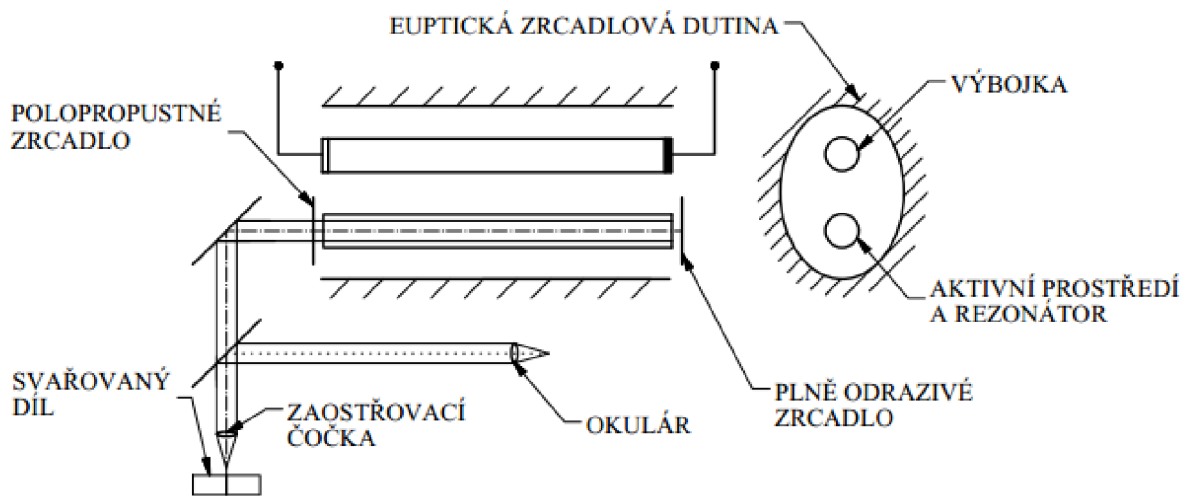
Základní části pevnolátkových laserů nalezneme na obr. 22. Aktivní materiál např. rubínový krystal je ozařovaný světlem výbojky. Ten absorbuje světlo výbojky. Ion chromu rubínového krystalu pohltí kvantum energie a pomocí přechodů z energetických hladin dochází k zesílení záření jedné vlnové délky, jedná se o tzv. stimulovanou emisi záření.

Aktivní prostředí je uzavřeno dvěma zrcadly, polopropustným s 80–90 % propustností fotonů a zrcadlem se 100 % odrazivostí. Vzdálenost mezi zrcadly se rovná násobku vlnové délky emitovaného záření. Úkolem nepropustného zrcadla je odrazení všech fotonů do aktivního prostředí. Po dosažení určitého množství fotonů v aktivním prostředí polopropustné zrcadlo propustí část záření formou krátkého vysokoenergetického pulzu. U současných pevnolátkových laserů se tato frekvence pohybuje mezi 1–500 Hz o celkové energii pulsu 0,1–200 J. Během celého procesu je zpravidla chlazen destilovanou vodou.

Druhy pevnolátkových laserů používaných v praxi nalezneme v tab. 10. V tab. 11 jsou uvedeny svařitelnosti materiálů laserovou technologií, jelikož se kobalt touto metodou nesvařuje, níže uveden není.

Tab. 10 Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování. [39]

Název	Aktivní prostředí		Vlnová délka λ [μm]
	Ion	Materiál	
Rubín	Cr^{3+}	Al_2O_3	0,694
Neodymové sklo	Nd^{3+}	Sklo	1,060
Nd: YAG	Nd^{3+}	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$	1,065



Obr. 22 Schéma pevnolátkového laseru. [37]

Výhody laserového svařování:

- Rychlá změna technologie
- Čistota provozu laseru, není nutné použít přídavný materiál
- Vysoká přesnost oblasti ovlivněné laserem
- Tichý provoz a snadná automatizace
- Dělení paprsku na různá pracovní místa soustavou zrcadel a hranolů

Tab. 11 Svařitelnost materiálů laserem. [39]

◇–velmi dobrá, ●–dobrá, ○–dostatečná

	Al	Ag	Au	Cu	Pd	Ni	Pt	Fe	Be	Ti	Cr	Mo	Te	W
Al	◇						●							
Ag	○	○												
Au	○	◇	◇											
Cu	○	○	◇	◇										
Pd			◇	◇										
Ni	○		◇	◇	◇	◇								
Pt		○	◇	◇	◇	◇	◇							
Fe			○	○	●	●	●	◇						
Be			○	○	○	○		○						
Ti	○	○	○	○	○	○	○	○		◇				
Cr			○		●	●	◇	◇		●				
Mo						○	◇	●		◇	◇			
Te					●	●	○	○		◇		◇		
W					○	○	●	○		○	◇	◇	◇	◇

4 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Cílem experimentu je ověření možnosti svařitelnosti kobaltových slitin pomocí laserového svařování. Obvykle se pro svařování tohoto typu slitin u jiných svařovacích metod používá předehřev kolem 300°C. Ve snaze snížit spotřebu vzácného prvku ve svařovacích aplikacích a s tím související snížení výrobních nákladů v případě dostačujícího spojení použít nebude. K hodnocení kvality svaru byly vybrány destruktivní zkoušky uvedené a vysvětlené níže.

4.1 Zkouška mikrostruktury a makrostruktury, ČSN EN ISO 17639 [46], [47], [48]

Makroskopická struktura materiálu se provádí vizuální kontrolou pouhým okem na součásti při skutečné velikosti nebo na optickém mikroskopu (obr. 23) při zvětšení maximálně do 30x. Vzorky jsou odebrány příčně k ose svaru. U svarových spojů je hodnocen např. charakter TOO, hranice ztavení, odmíšení svarového kovu atd.

Mikroskopická zkouška probíhá na odebraných vzorcích stejně jako u zkoumání makrostruktury na vzorcích orientovaných příčně na osu svaru. Touto metodou zkoumáme vzorky už pouze pod mikroskopem při zvětšení až 2000x. Zkouška je prováděna např. při hodnocení jednotlivých zrn materiálu, strukturální složky materiálu svaru atd.

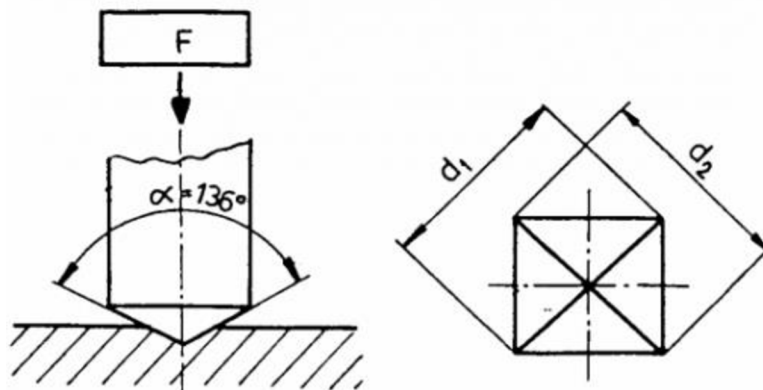


Obr. 23 Metallografický mikroskop. [48]

4.2 Zkouška tvrdosti dle Vickerse, ČSN EN ISO 9015–1 [49], [50]

Tvrlost je vlastnost materiálu vytvářet odpor proti vnikání cizího tělesa do jeho povrchu. Určuje se podle charakteru stopy, která vznikla vtlačováním normalizovaného tělesa do povrchu vzorku určitou silou za určitých podmínek.

Zkouška dle Vickerse spadá do statických zkoušek tvrdosti. Indentorem je pravidelný diamantový čtyřboký jehlan (obr. 24) s daným vrcholovým úhlem 136°. Hodnocení probíhá dle délky střední úhlopříčky na vzniklém vrypu. Pro měření svarových spojů na bázi železa se předepisuje zkouška HV 10 a HV5. ČSN EN ISO 15614–1 uvádí pro HV 10, povolenou tvrdost svarového spoje v rozmezí od 300–450 HV 10.



Obr. 24 Schéma zkoušky dle Vickerse. [49]

4.4 Vlastnosti zvoleného materiálu [5], [51], [52]

Pro experiment byl zvolen materiál Stelit 6B, který byl dodán ve formě tyčového hutního polotovaru a vyrobený firmou KENMETAL. Chemické složení slitiny se nachází v tab. 12. Pro ověření údajů je v příloze 2 doložen materiálový list.

Tab. 12 Chemické složení hm. % Stelitu 6B.

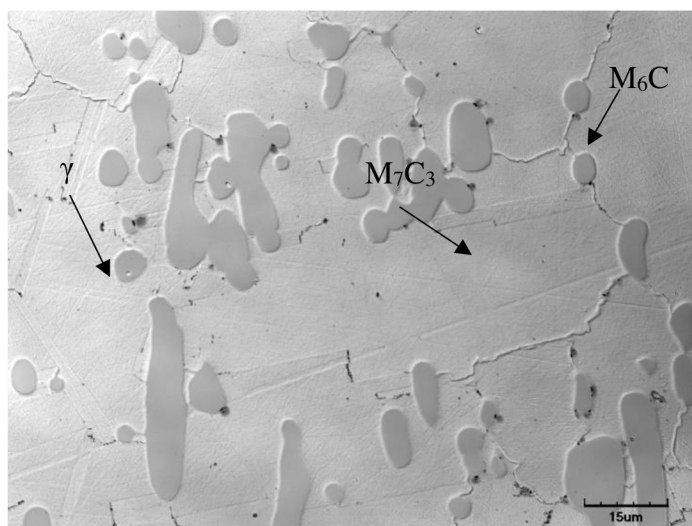
C	Cr	Si	W	Fe	Co	Ni	Mn	Mo	P	S
0,99	29,47	0,59	3,55	1,27	Bal.	2,76	1,21	1,35	<0,01	<0,002

Mezi klíčové vlastnosti této slitiny patří především vynikající odolnost proti opotřebení za vysokých teplot nebo žíravých podmínek. Do provozní teploty, která dosahuje 982 °C, zachovává svoji tvrdost a odolnost proti opotřebení, po zpětném zchlazení získává původní mechanické vlastnosti. Jeho nízký koeficient tření umožňuje klouzavý kontakt s ostatními kovy. Z tohoto důvodu může být použit v aplikacích se špatným přístupem pro efektivní mazání. Díky odolnosti vůči eroznímu prostředí a korozivzdornosti se uplatňuje hlavně v energetickém průmyslu. Lopatky chráněné Stelitem 6B umožňují nepřetržitý provoz až 30 let.

Tab. 13 Mechanické a fyzikální vlastnosti Stelitu 6B.

Tvrdost [HV 10]	Hustota [g/cm ³]	Rozsah tání [°C]	Mez pevnosti Rm [MPa]
354	8,39	1265–1354 °C	896

Mezi hlavní prvky posilující tuhý roztok γ (obr. 25) patří Cr, W, Mo. Prvky jako jsou Cr, W, Mo mají vliv na zpevňování tuhého roztoku, při jejich přesycení jsou vylučovány a reagují s uhlíkem. Ty pak vytvářejí karbidy M_6C a M_7C_3 . Karbidy M_6C jsou důležité pro zachování mechanických vlastností slitiny při tepelném zatěžování. Zabraňují vylučování prvků na hranicích zrn. Mo má největší rozpustnost v tuhém roztoku, proto primárním prvkem tvořící karbid M_6C bude pravděpodobně W. Karbid M_7C_3 tuhne jako poslední a je tvořený převážně Cr, který je vylučován z tuhého roztoku opět kvůli přesycení na hranicích zrn.



Obr. 25 Mikrostruktura Stelitu 6B

4.5 Svařovací proces

Svařovaný vzorek o \varnothing 34,9 mm a tloušťce 10,7 mm byl připraven upíchnutím na soustruhu z hutního polotovaru (tyče). Prioritou celého experimentu je zjistit strukturu a mechanické vlastnosti svaru, není tedy nutné vzorek příčně dělit.

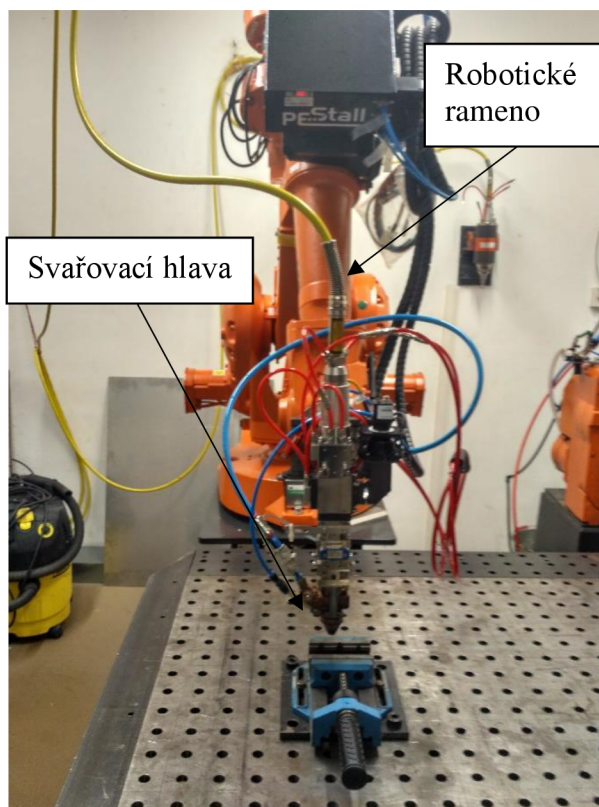
Vzorek byl upnut do příručního strojního svěráku (obr. 26) a uzavřen v odsávací svařovací komoře. Poté na plochu kruhového vzorku byla z každé strany navařena svarová housenka (obr. 28) vedená středem průřezu. Celkem tedy byly zhotoveny 2 svarové housenky s odlišnými svařovacími parametry. Svařovací parametry byly stanoveny dle zkušeností obsluhy a jsou uvedeny v tab. 14. Svar byl zhotoven pomocí optického vláknového laseru YPG – YSL 2000 se svařovací hlavou PRECITES YW – 30 (obr. 27). Svařovací hlava je upevněna na robotické ruce ABD IRB 2400 (obr. 27), která umožňuje pohyb laseru v osách x, y, z.

Tab. 14 Svařovací parametry.

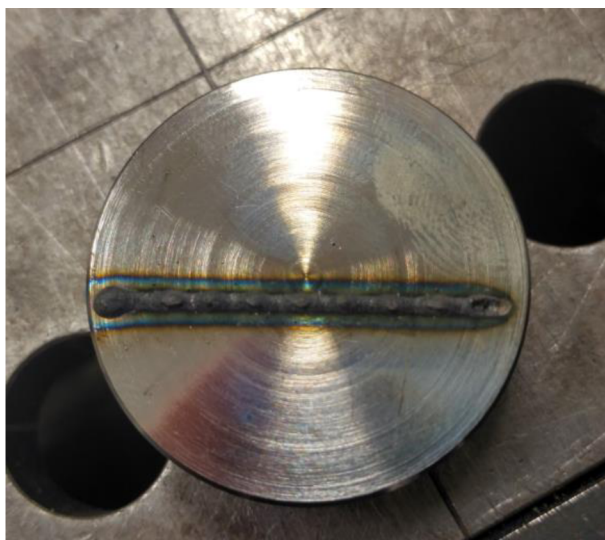
Číslo svaru	Rychlost svařování [mm·s ⁻¹]	Výkon laseru [W]	Ochranný plyn	Průtokové množství [l/min]	Poloha ohniska [mm]	Vlnová délka [μm]
1	20	1500	Argon 4.6	18	1	1,07
2	10	1500	Argon 4.6	18	1	1,07



Obr. 26 Způsob upnutí vzorku.



Obr. 27 Svařovací laser s komponenty.



Obr. 28 Svarová housenka na vzorku.

4.6 Příprava vzorku pro provedení zkoušek

Vzorek s navařenými housenkami (obr. 29) byl rozřezán kotoučem STRUERS 54A25, manuálně ovládaným řezacím zařízením STUERS Labotom-5 (obr. 30) na vhodné rozměry k zalisování.

Kvůli zajištění přilnavosti pryskyřice na zkoumaný kov proběhlo před zalisováním odmaštění lihem. Připravený vzorek se vložil do lisovacího stroje STUERS CitoPress-1

a zasypal granulátem. Pro zalisování byl nastaven 5minutový program, který probíhal za teploty 180 °C a tlaku 250 bar. V celkovém čase je zahrnuto i chlazení, po kterém byl připraven k broušení a leštění.

Broušení je nutností jak k odstranění přebytečné pryskyřice, tak ke zjemnění hrubého povrchu kovu. Dle různorodosti materiálu je u stroje STUERS Tegramin 20 (obr. 31) možné zvolit program předepsaný výrobcem. Proces broušení probíhal asi 20 minut ve 3 fázích s různými kotouči (obr. 32) chlazenými vodou. Posléze následovalo leštění. Kotouče (obr. 33) pro tuto operaci už měly význam pouze nosný pro diamantovou suspenzi.

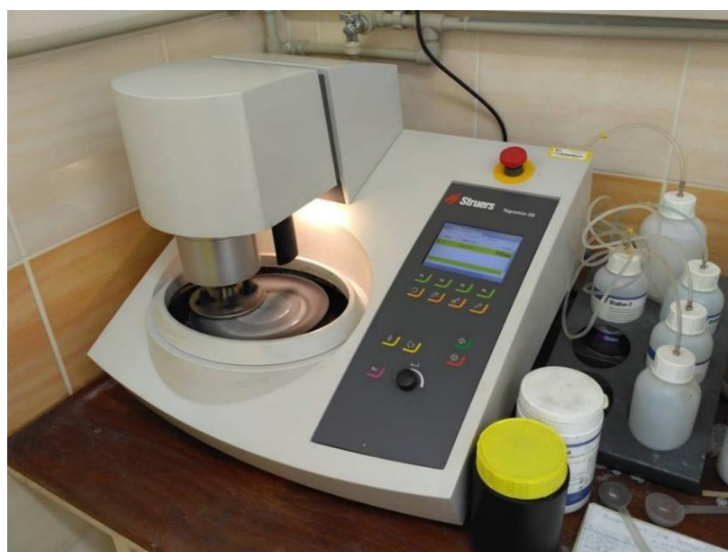
Ke zvýraznění povrchového reliéfu svaru bylo použito naleptání v roztoku $H_2O_2 + HCl$.



Obr. 29 Metalografický vzorek.



Obr. 30 Řezací zařízení STUERS Labotom-5.



Obr. 31 Brousící/Leštící stroj STUERS Tegramin 20.



Obr. 32 Brousící kotouče.



Obr. 33 Leštící kotouč.

4.6.1 Vyhodnocení makrostruktury

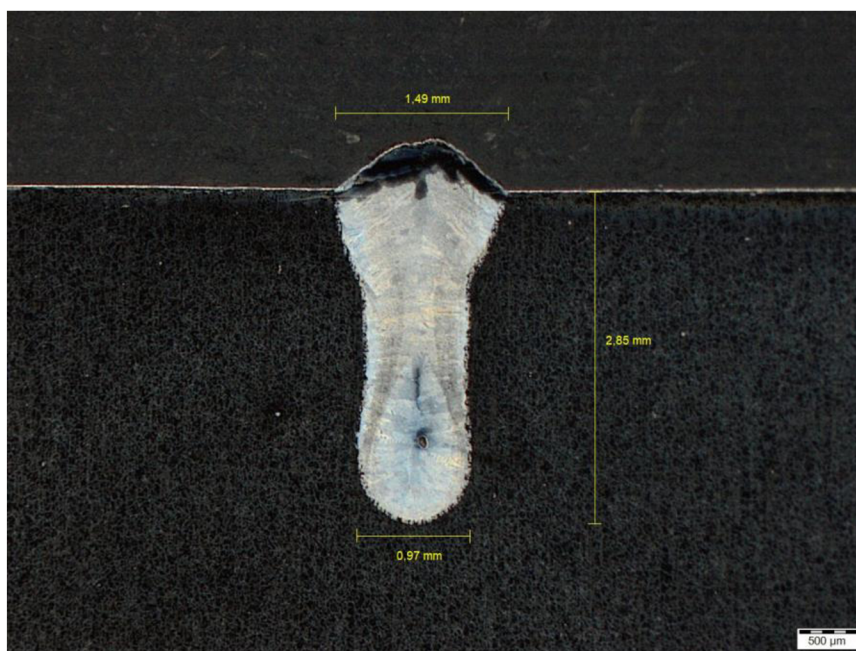
Vlivem použité technologie laserového svařování, kde nedochází k vytvoření velké TOO, je tato oblast na obou vzorcích téměř nerozpoznatelná. Na první pohled je na strukturách (obr. 34, 35) viditelný reliéf difundovaného prvku, s největší pravděpodobností se jedná o uhlík ze základního materiálu. Z důvodu použití odlišných svařovacích parametrů se výrazně liší nejen rozměr svaru, ale také jeho struktura. Rozměry svarů byly shrnuty do tab. 15.

Tab. 15 Rozměry svarů.

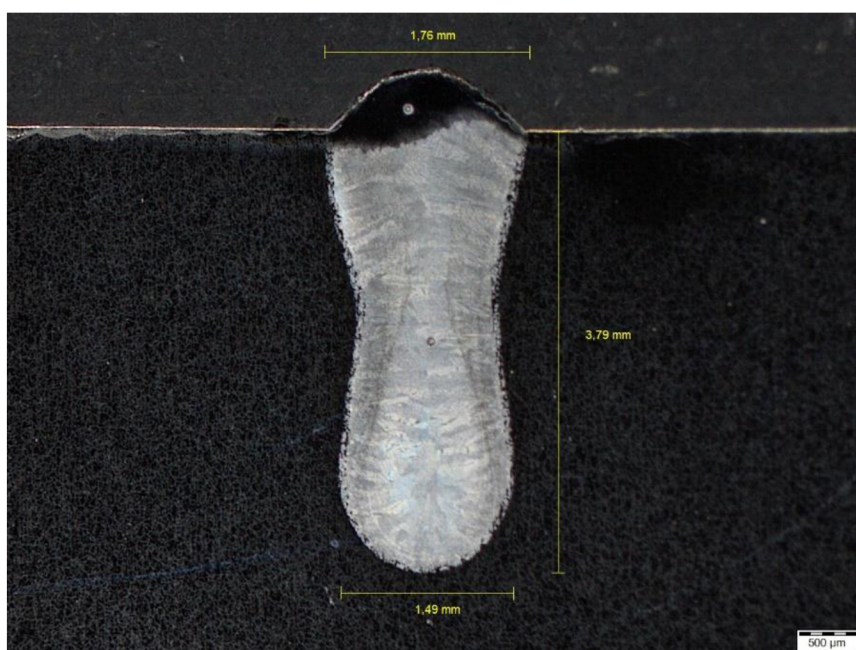
Číslo svaru	Hloubka svaru [mm]	Tloušťka kořene svaru [mm]	Tloušťka svaru na povrchu [mm]
1	2,85	0,97	1,49
2	3,79	1,49	1,76

U svaru č. 1 (obr. 34) byla použita větší svařovací rychlost (tab. 14), následkem toho docházelo k menšímu natavení základního materiálu a rychlejšímu chladnutí. Má tedy výrazně menší rozměry oproti svaru č. 2 (obr. 35). Rychlý odvod tepla měl za následek vznik trhliny o celkové délce 0,36 mm. S největší pravděpodobností se jedná o krystalizační trhlinu, která vznikla za tepla v průběhu tuhnutí, kdy vznikalo tahové napětí.

Použití menší svařovací rychlosti u svaru č. 2 (obr. 35) zapříčinilo delší soustředění laserového paprsku do svařovaného místa. S tím souvisí pomalejší natavování a větší ovlivnění základního materiálu. TOO a rozměry svaru jsou zde rozsáhlejší oproti svaru č. 1 (obr. 34) Následkem delšího soustředění paprsku bylo také pomalejší tuhnutí, které zamezilo vzniku tahového napětí, a tedy trhliny za horka. Struktura svaru je zde stabilnější.



Obr. 34 Makrostruktura svaru č. 1.



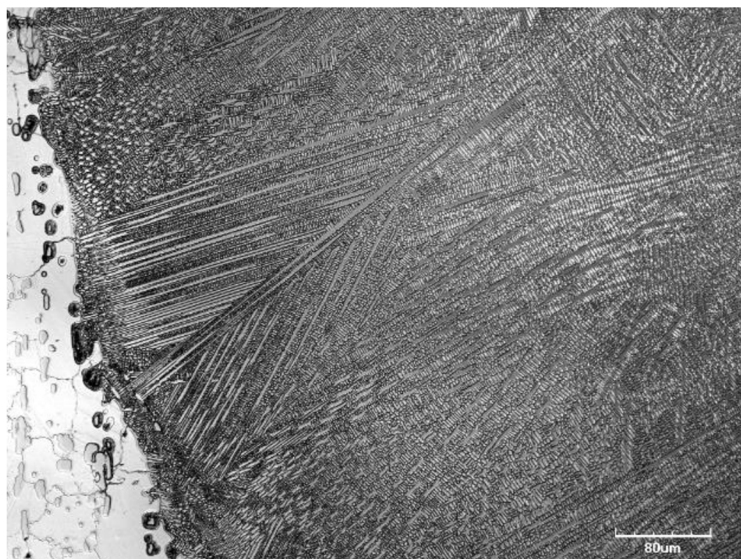
Obr. 35 Makrostruktura svaru č. 2.

4.6.2 Vyhodnocení mikrostruktury [52]

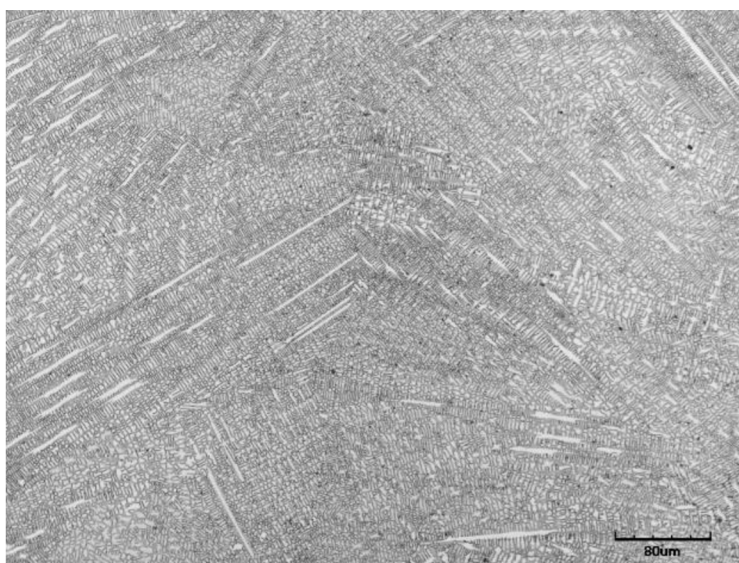
Svarové housenky byly zkoumány konfokálním mikroskopem. Z důvodu nejrychlejšího chladnutí byl největší důraz kladen na TOO. Zde je spoj nejvíce náchylný na tvorbu tvrdých a zároveň křehkých fází, které mohou vést k prasknutí již během svařování nebo po zařazení do provozu. U svaru č. 1 byly vybrány snímky TOO (obr. 36) a zároveň SK (obr. 37) z důvodu výskytu trhliny. Pro stabilnější svar č. 2 stačily snímky pouze teplotně ovlivněné oblasti (obr. 38) Místa svaru, ze kterého byly snímky sejmuty, se nachází v příloze 3, 4.

Mikrostruktura obou vzorků se skládá z jasných a tmavých ploch. Jasná fáze představují fázi bohatou na kobalt γ a tmavší oblasti vykazují interdendrické eutektické fáze. Karbidy M_6C bohaté na W a Mo obsažené v základním materiálu ze struktury vymizely. To bylo způsobeno roztavením základního materiálu a rychlým chladnutím za pokojových podmínek. Karbidotvorné prvky (Cr, W, Mo) neměly dostatek prostoru se rozpustit a utvořit tuhý roztok, jak tomu bylo dříve. Jelikož Cr tvoří téměř 24,5 % hmotnosti, zreagoval s C a utvořil karbidy $M_{23}C_6$ a M_7C_3 . Nejrychlejší tuhnutí bylo v již zmíněné TOO, zde jsou tyto fáze nejtmavší a jsou tvořeny karbidy typu $M_{23}C_6$. Ve svarovém kovu už odvod tepla nebyl tak kritický, proto se větší množství prvků stihlo rozpustit v tuhém roztoku a zbytek utvořil karbid M_7C_3 .

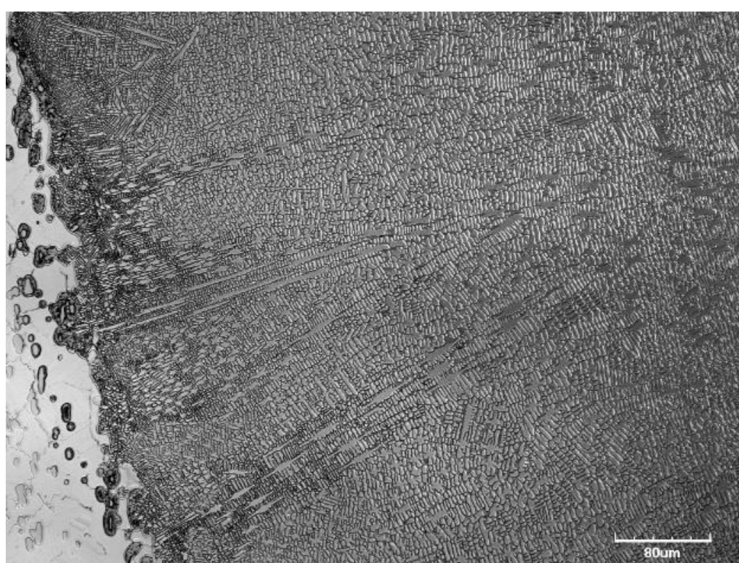
Svar č. 1 byl na chladnutí více náchylný. Růst dendritů je kolmý na linku tavby, protože teplotní gradient je v tomto směru maximální. Uprostřed svarového kovu (obr. 37) se nachází přechod vlivem úniku tepla na každou stranu svaru. Svar č. 2 na tento růst náchylný nebyl, teplotní linka je zde též součástí. Je tedy i po přezkoumání mikrostruktury stabilnější než svar č. 1.



Obr. 36 Mikrostruktura TOO svaru č. 1.



Obr. 37 Mikrostruktura SK svaru č. 1



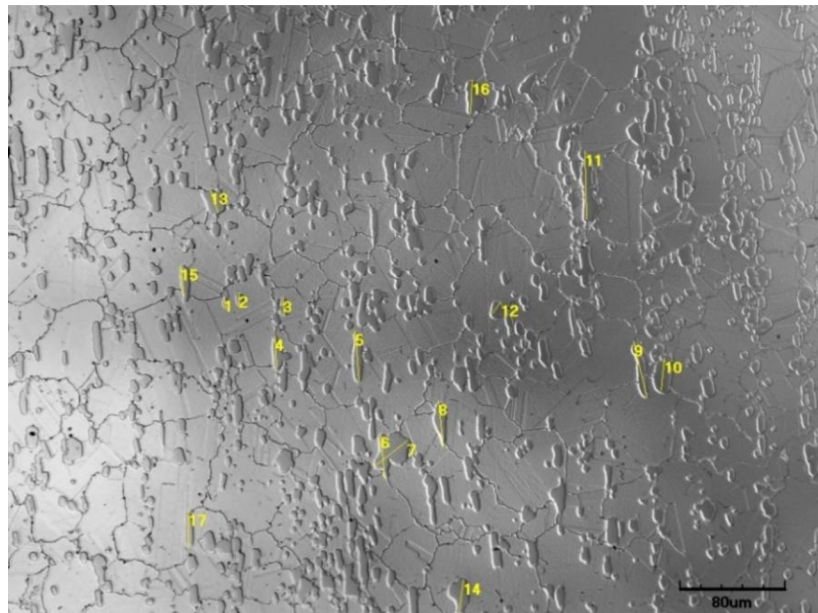
Obr. 38 Mikrostruktura TOO svaru č. 2.

4.6.3 Měření velikosti karbidů v ZM [5]

Při zkoumání struktury svaru byl mimo jiné proveden rozbor základního materiálu. Stelit 6B zachovává svoje vlastnosti za vysokých teplot právě díky karbidům M_6C . Obecně platí, že menší a častější výskyt karbidů je pro mechanické vlastnosti výhodnější než větší a méně časté. Zkoumání ZM nebylo cílem bakalářské práce, z tohoto důvodu není tato část více rozebrána. Velikost vybraných karbidů (obr. 39) je shrnuta v tab. 16.

Tab. 16 Rozměry karbidů M₆C.

Číslo fáze	Délka [μm]	dX [μm]	dY [μm]	dZ[μm]
1	8,94	1,87	8,74	0
2	9,37	0	9,37	1
3	14,38	0,62	14,36	0
4	24,39	1,25	24,36	1
5	39,47	3,12	39,35	1
6	35,73	3,12	35,60	0
7	33,33	26,20	20,61	0
8	35,79	3,74	35,60	0
9	44,84	9,98	43,72	2
10	25,11	2,50	24,98	-7
11	53,10	1,25	53,09	-6
12	13,86	8,11	11,24	2
13	19,16	6,24	18,11	1
14	25,18	3,12	24,98	0
15	24,48	2,50	24,36	0
16	26,26	1,25	26,23	2
17	27,48	0	27,48	-1



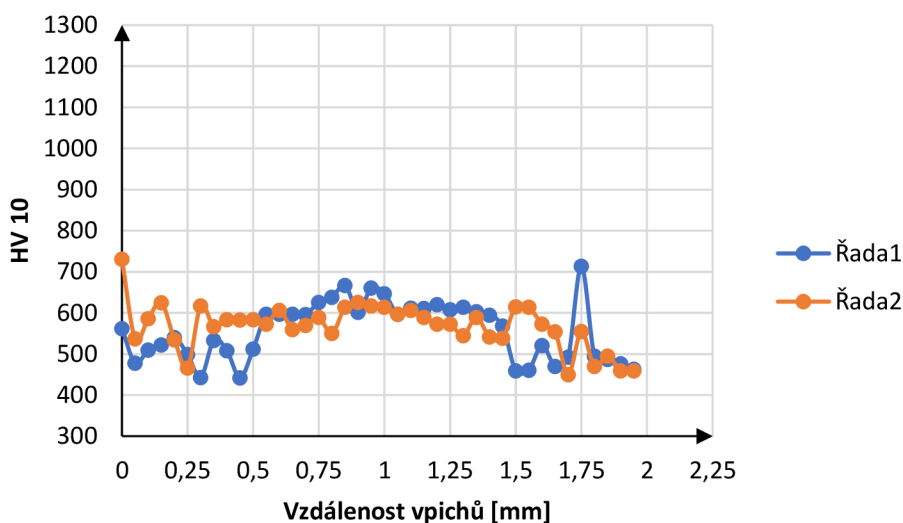
Obr. 39 Snímek struktury základního materiálu s karbidy M₆C.

4.6.4 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti dle Vickerse

Tvrdość základního materiálu dle materiálového listu dosahuje 36 HRC, tato tvrdość byla pomocí převodní tabulky převedena na 354 HV 10. Je tedy nutné počítat s určitou odchylkou. Stelit 6B je tvrdý materiál tvořený z velké části karbidy, z tohoto důvodu měření probíhalo se zatížením HV 10 na vzorcích z mikrostruktury a makrostruktury. Vpichy byly zhotovovány v základním materiálu, teplotně ovlivněné oblasti a svarovém kovu po 0,05 mm ve dvou řadách.

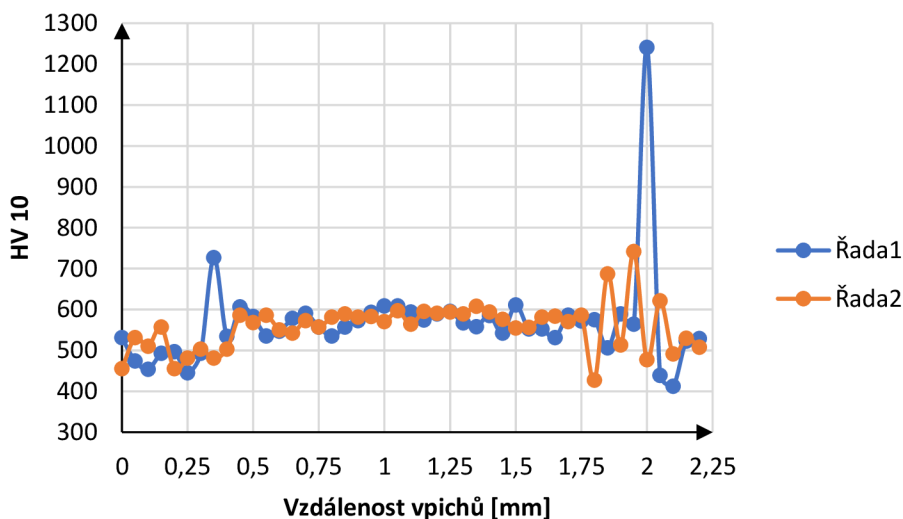
Velikost svaru je odlišná, proto se na svaru č. 1 nachází více vpichů než u svaru č. 2. Naměřené hodnoty byly shrnuty do tabulek (příloha 5, 6) a vloženy do grafů (obr. 40, 41).

Po hodnocení mikrostruktury a makrostruktury byl předpoklad výrazně větší tvrdosti ve svaru č. 1 vlivem rychlého chladnutí. Ve svarovém kovu se tato teorie potvrdila. Z důvodu měření tvrdosti ve dvou řadách se rozsah oblasti mírně liší. Vyskytuje se přibližně mezi 0,4–1,30 mm (obr. 40). Tvrdost se pohybuje na stejných hodnotách, výrazná změna začíná až po přechodu do teplotně ovlivněné oblasti, kde se vyskytují tvrdší karbidy bohaté na Cr $M_{23}C_6$. Průměrné hodnoty řad se od sebe prakticky neliší dosahují hodnot 568 HV 10 v první a ve druhé 556 HV 10.



Obr. 40 Grafická závislost zkoušky tvrdosti svaru č. 1.

Svarový kov u svaru č. 2 se pohybuje na konstantních hodnotách z důvodu pomalého chladnutí. Svarová oblast u tohoto svaru je od 0,4–1,75 mm (obr. 41). Teplotně ovlivněná oblast oproti svaru č. 1 dosahuje překvapivě vyšších hodnot. To způsobilo pomalé chladnutí kovu, prvky jako jsou W a Mo se stihly společně navázat s Cr a utvořit tvrdší karbidy než u svaru č. 2. Průměrná hodnota tvrdosti první řady je 567 HV 10 a druhé 558 HV 10. Svar je i přesto stabilnější, tvrdost od původní hodnoty byla po svaření navýšena téměř na dvojnásobnou hodnotu.



Obr. 41 Grafická závislost zkoušky tvrdosti svaru č. 2.

5 ZÁVĚRY

Bakalářská práce byla zaměřena na snížení množství použití kobaltu ve svařovacích procesech kvůli jeho rostoucí ceně. Pro tento účel se po zhodnocení ostatních technologií jevila jako nejlepší technologie laserového svařování. V praxi však zvolená technologie za tímto účelem používána není a dává se přednost svařovací metodě TIG. Hlavním záměrem experimentální části bylo ověřit možnosti tohoto použití pro daný materiál Stelit 6B a určit optimální podmínky. Celkem byly provedeny dva svary vláknovým laserem YPG – YSL 2000 bez přídavného materiálu a bez předehřevu za použití různých svařovacích rychlostí. Po zhodnocení makrostruktury svar zhotovený vyšší rychlostí obsahoval trhliny a póry spolu s nestabilní strukturou. Tyto trhliny vznikly za tepla následkem rychlého chladnutí svarového kovu, při kterém docházelo k růstu zbytkového pnutí.

Svar zhotovovaný danými parametry byl tedy označen za nevyhovující. U druhého svaru docházelo k pomalejšímu natavení materiálu a zároveň pomalejšímu chladnutí. Struktura zde byla bez trhlín a pórů. Tvrdost měřená dle Vickerse se zatížením HV 10 u obou vzorků dosahovala téměř dvojnásobku původní hodnoty 354 HV 10.

I přes pomalejší chladnutí byla teplotně ovlivněná oblast kritičtější u svaru zhotoveného pomalejší rychlostí, které vedlo k tvoření karbidů z více prvků. Po zhodnocení všech výstupů se ukázalo, že kobaltové slitiny lze touto metodou svařovat. Svar zhotovený pomalejšími svařovacími rychlostmi byl vyhodnocen jako vyhovující. Prvkem, který tvoří hlavní součást karbidů, je chrom. Literatura uvádí, že i po svaření slitina neztrácí svoji korozní odolnost. S přihlédnutím k teoretickým poznatkům bych pro zjemnění struktury a pomalejšímu odvodu tepla, doporučil použít předehřev.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MILLER ELECTRIC MANUFACTURING CO. The History of Welding. *MillerWelds* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-history-of-welding>.
2. Metals-Melting temperatures. *Engineering ToolBox* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/melting-temperature-metals-d_860.html.
3. DELORO WEAR SOLUTIONS GMBH. Hardfacing Alloys. *DELORO* [online]. 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: https://static1.squarespace.com/static/56e079802fe131546a70830d/t/5859540415d5db15d38c352b/1494252980724/Deloro_ENG_HardfacingAlloys_einzel+screen.PDF.
4. GEMC. Cobalt Demand. *Global Energy Metals Corp* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.globalenergymetals.com/cobalt/cobalt-demand/>.
5. DAVIS, J. R. *Nickel, cobalt, and their alloys*. Materials Park, OH: ASM International, c2000. ISBN 0-87170-685-7.
6. PRATIMA, Desai. Electric car boom spurs investor scramble for cobalt. *Reuters* [online]. 2017 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-cobalt-demand-investors/electric-car-boom-spurs-investor-scramble-for-cobalt-idUSKBN15T1VR>.
7. TRUMPF PRAHA, SPOL. S R.O. Svařování laserovým paprskem. In: *TRUMPF* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/pouziti/svarovani-laserovym-paprskem/?LS=1.
8. ČTK. Kobalt je kvůli elektrickým autům a Kongu nejdražší od roku 2008. In: *TZB-info* [online]. 2018 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/122691-kobalt-je-kvuli-elektrickym-autum-a-kongu-nejdrazsi-od-roku-2008>.
9. BELL, Terence. Cobalt Metal - Properties, Production, and Applications. *The Balance* [online]. 2018 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.thebalance.com/metal-profile-cobalt-2340131>.
10. KABELMÁNIE S.R.O. Baterie Samsung i9100 Galaxy S2, Li-ION 1900 mAh. In: *Kabelmánie* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.kabelmanie.cz/baterie-samsung-i9100-galaxy-s2-li-ion-1900-mah/#>.
11. SHAANXI REHI IMPORT ANDAMP; IZVOZ CO., LTD. *Super Nikal Kobalt Legure Cijevi* [online]. In: . [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://hr.goodalloy.com/cobalt-pipe/nickel-cobalt-alloy/super-nickel-alloy.html>.

12. PRIMÁK. Co – Kobalt – Grafy světová cena kobaltu Vývoj ceny Historie Kolik stojí dnes kobalt. *KITCO* [online]. 2013 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.kitco.cz/co-kobalt-grafy-svetova-cena-kobaltu-vyvoj-ceny-historie-kolik-stoji-dnes-kobalt/>.
13. DELORO WEAR SOLUTIONS GMBH. STELLITE™ 6 Data Sheet. *DELORO* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/56e079802fe131546a70830d/t/577aa957d2b85735f832e0cd/1467656536896/Deloro+MDS+Stellite6+rev00.pdf>.
14. YAEDU, A.E., P.S.C.P.da SILVA a A.S.C.M.d' OLIVEIRA. Influence of dilution on microstructure and mechanical properties of a cobaltbased alloy deposited by Plasma Transferred Arc welding. *DEMEC* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://servidor.demec.ufpr.br/pesquisas/superficie/artigos/2002_Materials_week_2002/mw2002_441.pdf.
15. Stellite-21-Datasheet. *Exocor* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://exocor.com/downloads/product-datasheets/Stellite-21-Datasheet.pdf>.
16. DELORO WEAR SOLUTIONS GMBH. STELLITE™ 21 Data Sheet. *DELORO* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/56e079802fe131546a70830d/t/588a1e7f197aea571f37a590/1485446785712/Deloro+MDS+Stellite21+rev00.pdf>.
17. AHRA MOTORS S. R. O. Opravy hlav. In: *AHRA MOTORS s. r. o.* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ahra.cz/opravy-hlav>.
18. NUTRON Model TT Trunion Mounted Ball Valve. In: *Fluid Technical Solutions S.A* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.fts-arg.com.ar/producto/nutron-model-tt-trunion-mounted-ball-valve/>.
19. Alloy L605 Cobalt Sheet, Coil & Bar - AMS 5537, 5759. *United Performance Metals* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.upmet.com/products/cobalt/alloy-l605>.
20. ALLEGHENY TECHNOLOGIES INCORPORATED. ATI L-605™ Alloy. *ATI Relentless innovation* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.atimetals.com/Products/Documents/datasheets/nickel-cobalt/cobalt-based/ATI%20L-605%20TDS.pdf>.
21. HIGH TEMP METALS, INC. HAYNES 188 TECHNICAL DATA. *High Temp Metals* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.hightempmetals.com/techdata/hitempHaynes188data.php>.

22. Alloy 188 Cobalt Sheet, Coil & Bar - AMS 5608, 5772. *United Performance Metals* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.upmet.com/products/cobalt/alloy-188>.
23. DELORO WEAR SOLUTIONS GMBH. STELLITE™ 25 Data Sheet. *DELORO* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/56e079802fe131546a70830d/t/59affe7cd7bdce7aa5ca7783/1504706173831/Deloro+MDS+Stellite25+rev00.pdf>.
24. Scientists Boost The Performance Of Jet Engines By Strengthening High-Temperature Superalloy. In: *Diply* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://diply.com/sciencep/article/jet-engine-performance-breakthrough?config=25>.
25. MAJER, Dušan. Na co se těšit v roce 2018?. In: *Kosmonautix* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.kosmonautix.cz/2018/01/na-co-se-tesit-v-roce-2018/>.
26. INKOSAS A.S. ULTIMET®. *INKOSAS* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.inkosas.cz/download/niklove-slitiny/ultimet.pdf>.
27. HAYNES INTERNATIONAL. Ultimet. *HAYNES International* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://haynesintl.com/docs/default-source/pdfs/new-alloy-brochures/corrosion-resistant-alloys/brochures/ultimet.pdf?sfvrsn=64>.
28. NEONICKEL. MP35N. *NeoNickel* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.neonickel.com/wp-content/uploads/2013/09/MP35N-Data-Sheet.pdf>.
29. JIANGSU LIANGYI CO.,LIMITED. ULTIMET alloy(UNS R31233,2.4681,CoCr26Ni9Mo5W) agitators blenders bolts dies extruders fan blades filters glass plungers. In: *JSSY* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.jjlyoemparts.com/sale-9204716-ultimet-alloy-uns-r31233-2-4681-cocr26ni9mo5w-agitators-blenders-bolts-dies-extruders-fan-blades-fil.html>.
30. V.J. STEEL & ALLOYS LIMITED. WELCOME TO VJ STEEL & ALLOYS. *VJ Steel & Alloys Logo* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://skydotinfotech.in/vjsteel/>.
31. HEMPEL SPECIAL METALS. Medical. *Hempel Special Metal Group* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://hempel-metals.com/en/Alloy-MP35N-Medical-wires.htm>.
32. Kobalt. *Periodická soustava prvků* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/27.html>.

33. JOPKOVÁ, Miroslava a Petr VÁLEK. Kobalt. *Arnika* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://arnika.org/kobalt>.
34. Cobalt. In: *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt>.
35. GUNN, Gus, ed. *Critical metals handbook*. Chichester: American Geophysical Union, 2014. ISBN 978-0-470-67171-9.
36. The Goro Nickel mine is the largest mining projects in New Caledonia. In: *Mining Technology* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://www.mining-technology.com/projects/goro-nickel/attachment/goro-nickel1/>.
37. BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-857-7197-7.
38. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2.*, upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-857-7185-3.
39. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
40. HAVELKA, Pavel. TIG (WIG). In: *Automig* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>.
41. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
42. KUČERA, Jan. *Teorie svařování - část 1*. Ostrava: VŠB, 1994, 206 s.
43. SCHINKMANN S.R.O. Plazma - mikroplazmové svařování, středněplazmové svařování. In: *Svářecí technika Schinkmann* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma-1>.
44. KOLAŘÍK, Ladislav. Elektronové svařování - perspektivní metoda pro speciální materiály. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/elektronove-svarovani-perspektivni-metoda-pro-specialni-materialy.html>.
45. MRŇA, Libor. Navařování laserem. In: *Odbor technologie svařování ÚST FSI VUT Brno* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z:

http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_laserem_2013_mrna.pdf .

46. ŠTOKRÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. *Konstrukce* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>.
47. ČSN EN ISO 17639 (051128). *Internetová prodejna norem* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz/detail/94845>
48. UNIPRO-ALPHA. Metalurgický mikroskop KERN OKN-1. In: *KERN* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://vahy-kern.cz/produkty/top-produkty/kern-optics/kern-metalurgicke-mikroskopy/metalurgicky-mikroskop-kern-okn-1/>.
49. BUREŠ, Jiří. Zkouška tvrdosti dle Vickerse. *ConVERTER* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>.
50. CHEMPOINT. Tvrdost (mikrotvrdost) – významná mechanická vlastnost materiálů. In: *ChemPoint* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/tvrdost-mikrotvrdost>.
51. KENNAMETAL STELLITE. Stellite 6B. *Kennametal Stellite* [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.stellite.com/en/products/stellite-6b.html>.
52. Tvrdost - převodní tabulka. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/tvrdost-prevodni-tabulka>.
53. MADADI, F., M. SHAMANIAN a F. ASHRAFIZADEH. Cladding of stellite composite on carbon steel by gas tungsten arc welding (GTAW). *International Journal of Iron & Steel Society of Iran* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://journal.issiran.com/article_6271_7e782eae1a638facea3b5df74c25b2b7.pdf.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
Al	Hliník	[-]
B	Bor	[-]
C	Uhlík	[-]
Co	Kobalt	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cu	Měd	[-]
Fe	Železo	[-]
HCl	Kyselina chlorovodíková	[-]
H ₂ O ₂	Peroxid vodíku	[-]
La	Lanthan	[-]
LaB ₆	Hexaborid lanthanu	[-]
Li-on	Lithium iont	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molybden	[-]
N	Dusík	[-]
Nb	Niob	[-]
Ni	Nikl	[-]
P	Fosfor	[-]
RM	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
RTG	Rentgenové záření	[nm]
S	Síra	[-]
Si	Křemík	[-]
SK	Svarový kov	[-]
Ta	Tantal	[-]
Te	Tellur	[-]
Ti	Titan	[-]
TOO	Teplotně ovlivněná oblast	[-]
W	Wolfram	[-]
WIG	Wolfram inert gas	[-]
Y	Yttrium	[-]
Zr	Zirkon	[-]
ZM	Základní materiál	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Laserové svařování a primární využití prvku [7], [8].....	10
Obr. 2 Li-on baterie [10].....	11
Obr. 3 Polotovar ze super–slitiny [11].....	11
Obr. 4 Spotřeba kobaltu v roce 2006 [4]	12
Obr. 5 Spotřeba kobaltu v roce 2016 [4]	12
Obr. 6 Spotřeba kobaltu od roku 2020 [4]	12
Obr. 7 Ternární systém Co–Cr–W [5]	14
Obr. 8 Sedla ventilů spalovacích motorů [17]	15
Obr. 9 Petrochemický ventil [18]	15
Obr. 10 Tryskový motor [24].....	17
Obr. 11 Hořáky raketoplánu [25].....	17
Obr. 12 Šrouby z Ultimet slitiny [29]	18
Obr. 13 Chirurgické implantáty [30]	19
Obr. 14 Kobalt [34].....	20
Obr. 15 Těžba lateritu nesoucí nikl [36]	21
Obr. 16 Schéma svarového spojení [37].....	22
Obr. 17 Schéma svařování metody TIG [40].....	25
Obr. 18 Schéma plazmového svařovacího hořáku [43].....	26
Obr. 19 Závislost entalpie plynů na teplotě [39]	27
Obr. 20 Schéma svařování elektronovým paprskem [44].....	28
Obr. 21 Tavení kovu laserovým paprskem [45]	30
Obr. 22 Schéma pevnolátkového laseru [37].....	31
Obr. 23 Metalografický mikroskop [48].....	32
Obr. 24 Schéma zkoušky dle Vickerse [49]	33
Obr. 25 Mikrostruktura Stelitu 6B.....	34
Obr. 26 Způsob upnutí vzorku.....	35
Obr. 27 Svářecí laser s komponenty	35
Obr. 28 Svarová housenka na vzorku	35
Obr. 29 Metalografický vzorek.....	36
Obr. 30 Řezací zařízení STUERS Labotom–5	36
Obr. 31 Brousící/Leštící stroj STUERS Tegramin 20	37
Obr. 32 Brousící kotouče	37
Obr. 33 Leštící kotouč	37
Obr. 34 Makrostruktura svaru č. 1	38
Obr. 35 Makrostruktura svaru č. 2	38
Obr. 36 Mikrostruktura TOO svaru č. 1	39
Obr. 37 Mikrostruktura SK svaru č. 1	40
Obr. 38 Mikrostruktura TOO svaru č. 2	40
Obr. 39 Snímek struktury základního materiálu s karbidy M ₆ C.....	41
Obr. 40 Grafická závislost zkoušky tvrdosti svaru č. 1	42
Obr. 41 Grafická závislost zkoušky tvrdosti svaru č. 2	42

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení vybraných slitin [5]	13
Tab. 2 Mechanické a fyzikální vlastnosti ořezu–vzdorných slitiny [15], [13].....	16
Tab. 3 Mechanické a fyzikální vlastnosti žáru–vzdorných slitiny [23], [21]	17
Tab. 4 Mechanické a fyzikální vlastnosti korozi–vzdorných slitiny [25], [27].....	19
Tab. 5 Základní vlastnosti kobaltu [30]	21
Tab. 6 Vliv ostatních prvků na slitinu [5].....	22
Tab. 7 Druhy wolframových elektrod [41]	25
Tab. 8 Teploty plazmy v používaných prostředích [37].....	26
Tab. 9 Svařitelnost materiálů v kombinaci s kobaltem [39]	29
Tab. 10 Druhy pevnolátkových laserů používaných ve svařování [37]	30
Tab. 11 Svařitelnost materiálů laserem [37].....	31
Tab. 12 Chemické složení hm. % Stelitu 6B	33
Tab. 13 Mechanické a fyzikální vlastnosti Stelitu 6B	33
Tab. 14 Svařovací parametry	34
Tab. 15 Rozměry svarů	37
Tab. 16 Rozměry karbidů M_6C	41

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Hm. % ostatních vybraných slitin
- Příloha 2 Materiálový list Stelit 6B
- Příloha 3 Mikrostruktura svaru č. 1
- Příloha 4 Mikrostruktura svaru č. 2
- Příloha 5 Hodnoty mikrotvrdomosti svaru č. 1
- Příloha 6 Hodnoty mikrotvrdomosti svaru č. 2

Příloha 1 Hm. % ostatních vybraných slitin

Název	Chemické složení slitiny hm. %									
	Co	Cr	W	C	Ni	Mo	Fe	Si	Mn	Ostatní
Stelit 1	bal.	30	13	2,5	1,5	0,5	3	1,3	0,5	–
Stelit 3	bal.	30,5	12,5	2,4	<3,5	–	<5	<2	<2	<1 B
Stelit 4	bal.	30	14	0,57	<3	<1	<3	<2	<1	–
Stelit 12	bal.	30	8,3	1,4	1,5	–	>3	0,7	<1	–
Stelit 98M2	bal.	30	18,5	2	3,5	<0,8	<5	<1	<1	<4,2 V, 1 B
Stelit 730	bal.	32	–	2,4	<3	12	<3	<1,5	<1,5	–
Stelit 706	bal.	29	–	1,2	<3	5	<3	<1,5	<1,5	–
Stelit 712	bal.	29	–	2	<3	8,5	<3	<1,5	<1,5	–
Stelit 720	bal.	33	–	2,5	<3	18	<3	<1,5	<1,5	0,3 B
Stelit F	bal.	25	12,3	1,75	22	<1	<3	<2	<1	–
Stelit Star J	bal.	32,5	17,5	2,5	2,5	–	<3	<2	<2	<1 B
Tantung G	bal.	29,5	16,5	3	<7	–	3,5	–	<2	4,5 Ta/Nb
Tantung 144	bal.	27,5	18,5	3	<7	–	3,5	–	<2	4,5 Ta/Nb
Tribaloy T400	bal.	9	–	–	–	29	–	2,5	–	
Tribaloy T800	bal.	18	–	–	–	29	–	3,5	–	
Stelit 6K	bal.	30	4,5	1,6	<3	<1,5	<3	<2	<2	
Inconel 783	bal.	3	–	0,03	28	–	25,5	<0,5	<0,5	<5,5 Al, 3 Nb, 3,4 Ti
UMCo-50	bal.	28	–	0,02	–	–	21	0,75	0,75	
S-816	bal.	20	4	0,37	20	4	<5	<1	1,5	4 Nb
MP159	bal.	19	–	–	25,5	7	9	–	–	3 Ti, 0,6 Nb, 0,2 Al
Duratherm 600	41,5	12	3,9	0,05	Bal.	4	8,7	0,4	0,75	2 Ti, 0,6 Nb, 0,2 Al
Elgiloy	40	20	–	0,15	15,5	7	bal.	–	2	<1 Be
Havar	42,5	20	2,8	0,2	13	2,4	bal.	–	1,6	<0,06 Be

Příloha 2 Materiálový list Stelit 6B 1/2

C15080465-140784 Kennametal
eingelangt am 01-06-2015

SEIKO reg no:
T162 / SQ2

Beleg-Nr.:.....3_
Seite:.....1/2



SEIKO
Zur Schleuse 5

A-2000 Stockerau
AUSTRIA

Ihr Zeichen

Ihr Schreiben vom

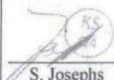
Unser Zeichen
SJ/mn

Datum
08/05/2015

ABNAHMEPRÜFZEUGNIS / INSPECTION CERTIFICATE
gemäß / according to DIN EN 10204/3.1

No.: 128510 Rev01
Seite / Page 1 / 2

Kunden-Auftragsnummer: <i>Customer order no.:</i>	C15080465-140784		
Unsere Auftragsnummer: <i>Our order no.:</i>	22947679 Pos. 10 (BE4511040)	vom/dt.	16/04/2015
Beschreibung <i>Description:</i>	STANGE geschmiedet/ <i>BAR forging</i>		
Ident-Nr.: <i>Ident-No.:</i>	-		
Zeichnung-Nr.: <i>Drawing-No.:</i>	Ø 34,9mm		
Werkstoff: <i>Material:</i>	STELLITE® alloy 6B		
Anforderungen: <i>Requirements:</i>	-		
Menge: <i>Quantity:</i>	4,037 kg		
Kennzeichnung: <i>Ident marks:</i>	-		
Charge: <i>Batch No.:</i>	1810-4-1098		

KENNAMETAL STELLITE GmbH			Werksachverständiger / <i>Works Inspector</i>		
Dr. Hofmann	M. Jeuk	 S. Josephs	B. Royer	J. Sternsek	

Příloha 2 Materiálový list Stelit 6B 2/2

C15080465-140784 Kennametal
eingelangt am 01-06-2015

SEIKO reg no:
T162 / SQ2

Beleg-Nr.:.....3_
Seite:.....2/2

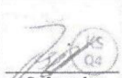


ABNAHMEPRÜFZEUGNIS / INSPECTION CERTIFICATE
gemäß / according to DIN EN 10204/3.1

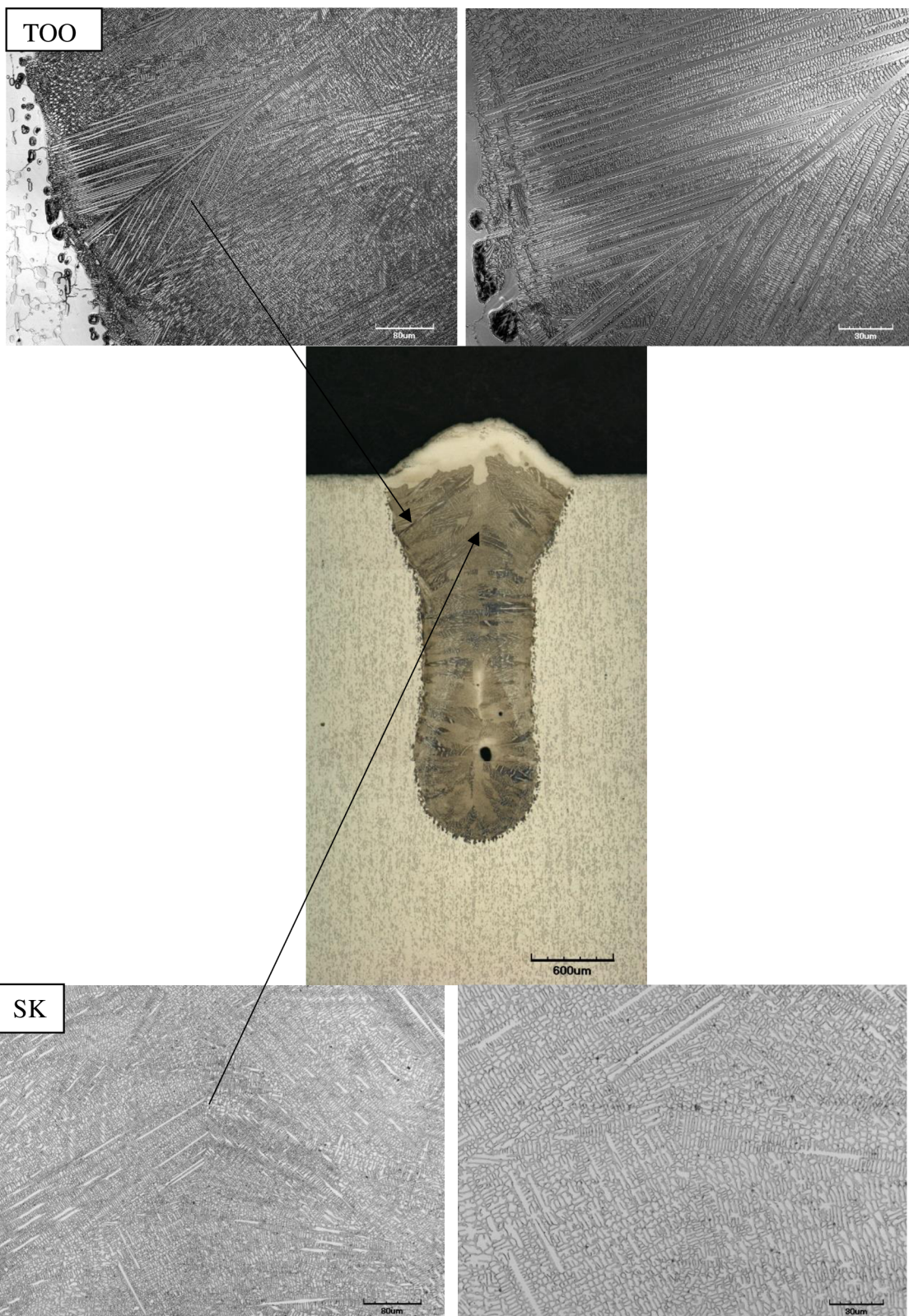
No.: 128510 Rev01
Seite / Page 2 / 2

HÄRTEPRÜFUNG nach / HARDNESS TEST / acc. To DIN EN ISO 6508-1 (Rockwell C)	
Härte: Hardness:	Ergebnis / Result: Teil Nr. / Piece no. 36 HRC

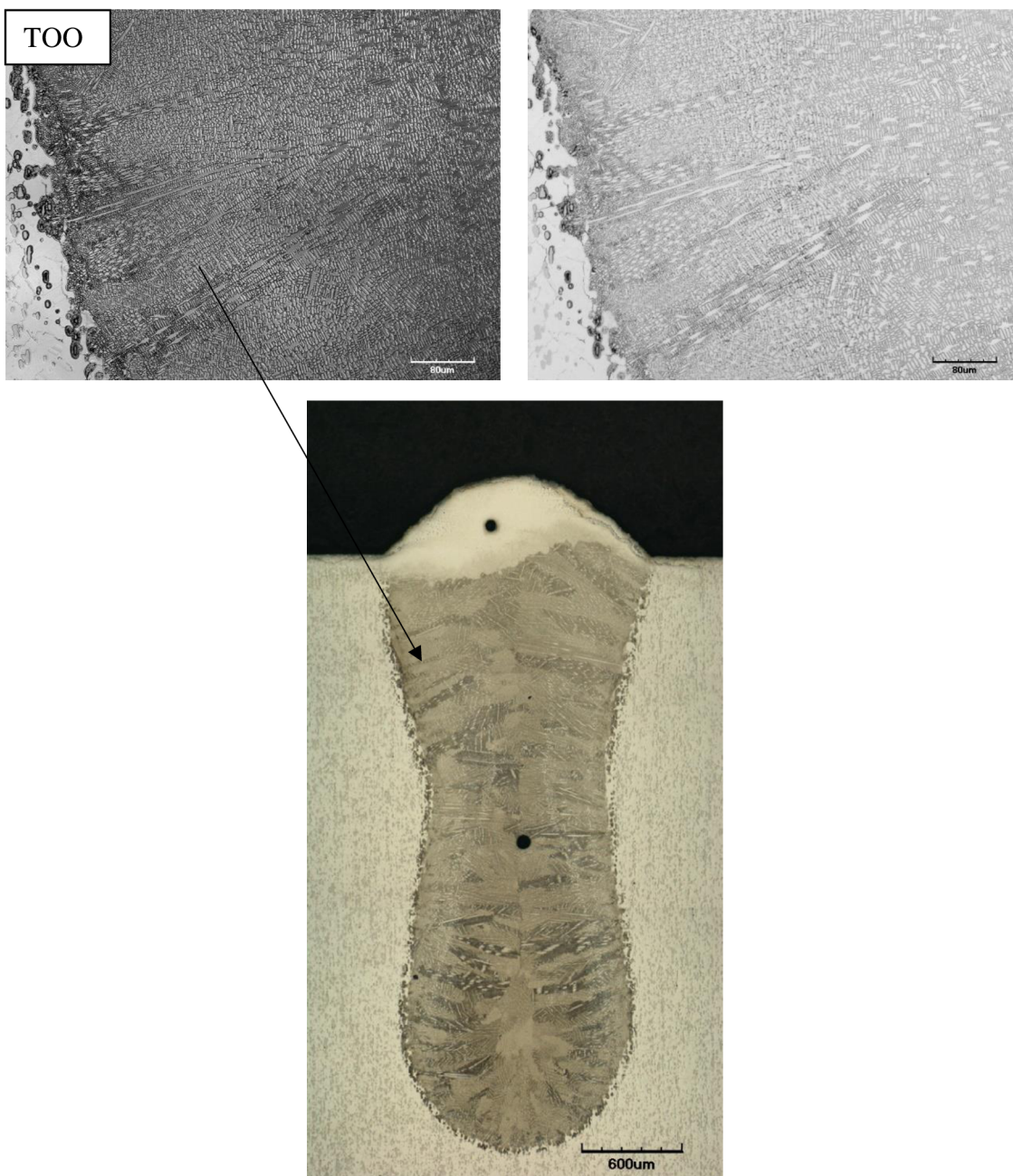
CHEM. ANALYSE (Massen %) / CHEM. ANALYSIS (Wt.%)						ERSCHMELZUNGSART: Elektro ,E' / MELTING PROCESS: Electro ,E'					
Chargen Nr. Batch no.	C	Cr	Si	W	Fe	Co	Ni	Mn	Mo	P	S
1810-4-1098	0,99	29,47	0,59	3,55	1,27	Rest/Bal.	2,76	1,21	1,35	<0,01	<0,002

KENNAMETAL STELLITE GmbH			Werksachverständiger / Works Inspector		
Dr. Hofmann	M. Jeuk	 S. Josephs	B. Royer	J. Stermsek	

Příloha 3 Mikrostruktura svaru č. 1



Příloha 4 Mikrostruktura svaru č. 2



Příloha 5 Hodnoty mikrotvrdosti svaru č. 1.

Vzdálenost	HV 10	Vzdálenost	HV 10
Řada 1		Řada 2	
0	531	0	455
0,05	474	0,05	531
0,1	454	0,1	510
0,15	493	0,15	557
0,2	497	0,2	455
0,25	445	0,25	481
0,3	493	0,3	503
0,35	727	0,35	481
0,4	534	0,4	503
0,45	606	0,45	586
0,5	583	0,5	568
0,55	535	0,55	586
0,6	547	0,6	550
0,65	578	0,65	542
0,7	591	0,7	573
0,75	557	0,75	557
0,8	535	0,8	581
0,85	557	0,85	589
0,9	573	0,9	581
0,95	593	0,95	583
1	609	1	570
1,05	609	1,05	597
1,1	594	1,1	564
1,15	574	1,15	595
1,2	589	1,2	591
1,25	595	1,25	594
1,3	567	1,3	589
1,35	558	1,35	608
1,4	585	1,4	594
1,45	542	1,45	576
1,5	611	1,5	555
1,55	552	1,55	556
1,6	552	1,6	581
1,65	531	1,65	584
1,7	586	1,7	570
1,75	572	1,75	586
1,8	575	1,8	427
1,85	506	1,85	687
1,9	589	1,9	513
1,95	564	1,95	742
2	1241	2	477
2,05	439	2,05	621
2,1	412	2,1	491
2,15	523	2,15	530
\bar{x}	567	\bar{x}	557

Příloha 5 Hodnoty mikrotvrdosti svaru č. 2

Vzdálenost	HV 10	Vzdálenost	HV 10
Řada 1		Řada 2	
0	531	0	455
0,05	474	0,05	531
0,1	454	0,1	510
0,15	493	0,15	557
0,2	497	0,2	455
0,25	445	0,25	481
0,3	493	0,3	503
0,35	727	0,35	481
0,4	534	0,4	503
0,45	606	0,45	586
0,5	583	0,5	568
0,55	535	0,55	586
0,6	547	0,6	550
0,65	578	0,65	542
0,7	591	0,7	573
0,75	557	0,75	557
0,8	535	0,8	581
0,85	557	0,85	589
0,9	573	0,9	581
0,95	593	0,95	583
1	609	1	570
1,05	609	1,05	597
1,1	594	1,1	564
1,15	574	1,15	595
1,2	589	1,2	591
1,25	595	1,25	594
1,3	567	1,3	589
1,35	558	1,35	608
1,4	585	1,4	594
1,45	542	1,45	576
1,5	611	1,5	555
1,55	552	1,55	556
1,6	552	1,6	581
1,65	531	1,65	584
1,7	586	1,7	570
1,75	572	1,75	586
1,8	575	1,8	427
1,85	506	1,85	687
1,9	589	1,9	513
1,95	564	1,95	742
2	1241	2	477
2,05	439	2,05	621
2,1	412	2,1	491
2,15	523	2,15	530
\bar{x}	567	\bar{x}	557