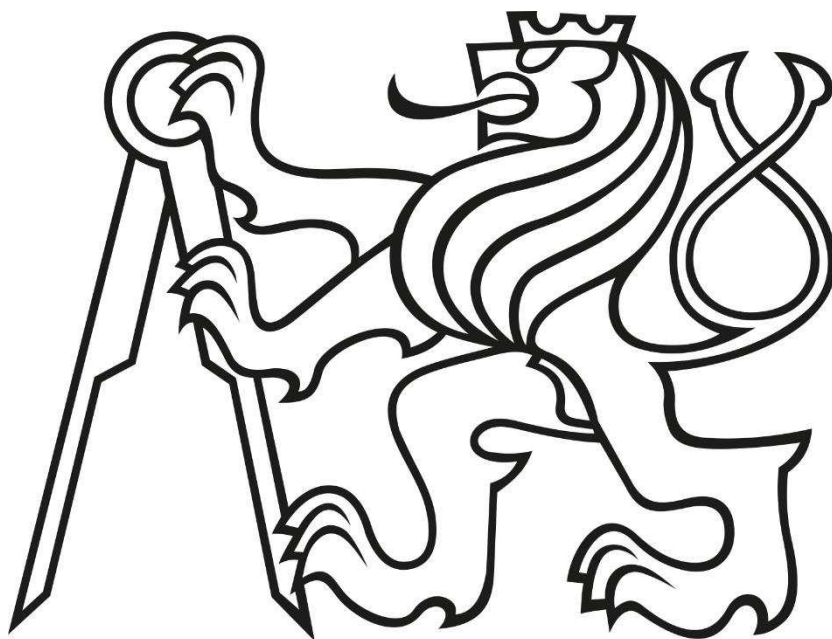


# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv technologických parametrů na strukturu a vlastnosti návarů

Autor:           Jakub Křížek

Vedoucí práce: Ing. Pavel Rohan Ph.D.

2017

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Křížek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **437727**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv technologických parametrů na strukturu a vlastnosti návarů**

Název bakalářské práce anglicky:

**The influence of plasma parameters on microstructure and properties of coating**

Pokyny pro vypracování:

bude zkoumán vztah proudu a podávací rychlosti při PTA  
Teoretická část - navařování (MIG, MAG, TIG, laser, ostatní), plazma a jeho využití, plazmové technologie, navařování plazmatem  
struktura práce - cíle, úvod, podmínky měření, výsledky, diskuze, závěr

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Pavel Rohan Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Anotační list

Jméno autora:	Jakub Křížek
Název bakalářské práce:	Vliv technologických parametrů na strukturu a vlastnosti návarů
Anglický název:	The influence of plasma parameters on microstructure and properties of coating
Rok:	2017
Obor studia:	Teoretický základ strojího inženýrství
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí:	Ing. Pavel Rohan, Ph.D., EWE
Konzultant:	–
Bibliografické údaje:	Počet stran: 47 Počet obrázků: 18 Počet tabulek: 12 Počet příloh: -
Klíčová slova:	Navarování, plasma, plazmové technologie, navarování plazmatem
Keywords:	Cladding, plasma, plasma technology, plasma transferred arc surfacing, hardfacing,
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá problematikou navarování kobaltové slitiny typu Stellite 6 plazmatem. V teoretické části je proveden rozbor technologie navarování. Experimentální část se zabývá určením účinnosti výsledných návarů v závislosti na parametrech navarování.
Abstract:	The bachelor thesis deals with the issues of hardfacing of cobalt alloys type Stellite 6 by Plasma Transferred Arc. Theoretical part is analysis of hardfacing. Experimental part deals with the determination of efficiency of final cladding deposits depending on the parameters of hardfacing.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Vliv technologických parametrů na strukturu a vlastnosti návarů“ vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Ing. Pavla Rohana Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškerá literatura a zdroje jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Podpis

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkovat panu Ing. Pavlu Rohanovi, Ph.D., EWE za odborné vedení, cenné připomínky a ochotu při vedení této bakalářské práce. Dále děkuji všem vyučujícím na Fakultě stojní ČVUT v Praze, kteří mi předávali své zkušenosti a znalosti, a také své rodině za podporu po celou dobu studia.

## Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek.....	9
Cíle práce.....	10
Zkratky .....	11
1. Navařování kovu .....	12
1.1 Metody navařování .....	13
1.1.1. Navařování plamenem.....	14
1.1.2. Navařování ruční obalenou elektrodou.....	15
1.1.3. Navařování metodou MIG/MAG .....	16
1.1.4. Metoda TIG .....	18
1.1.5. Navařování pod tavidlem.....	19
1.1.6. Laserové navařování.....	20
1.1.7. Plazmové navařování.....	22
1.2 Materiály pro navařování.....	24
1.2.1. Slitiny typu Stellite 6 .....	24
1.3 Účinnost navařovacích procesů .....	25
1.4 Modelování navařovacího procesu .....	26
1.5 Zředění .....	27
1.6 Pulzace.....	27

2.	Experimentální část .....	29
2.1	Příprava vzorků.....	29
2.2	Definování parametrů - vliv pulzace.....	30
2.3	Definování parametrů – vliv podávání .....	31
2.4	Navařovací stroj.....	32
3.	Výsledky.....	33
3.1	Vliv pulzace .....	33
3.2	Vliv podávání.....	36
4.	Diskuze .....	39
4.1	Vliv pulzace .....	39
4.2	Vliv podávání.....	39
	Závěr.....	41
	Citovaná literatura .....	42

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Druhy plamenů [5].....	14
Obrázek 2: Schéma navařování obalenou elektrodou [7].....	15
Obrázek 3:Schéma hořáku MIG/MAG [11].....	17
Obrázek 4: TIG metoda [16] .....	18
Obrázek 5: Navařování pod tavidlem [20] .....	20
Obrázek 6: Laserové navařování [27] .....	21
Obrázek 7: Schéma hořáku PTA [31] .....	23
Obrázek 8:Model elipsoidního zdroje tepla [44].....	26
Obrázek 9: Řez v rovině kolmé k podélné ose návaru .....	27
Obrázek 10: Pulzace .....	28
Obrázek 11: Vzhled prášku Celsit V-P (DEW, Německo) .....	29
Obrázek 12: Rozložení termočlánků .....	30
Obrázek 13: Navařování na automatickém plazovém zařízení PPC 250 R6 .....	32
Obrázek 14: Vliv pulzace, podávání 15, proud 160 A .....	34
Obrázek 15: Teplotní průběh vzorku č. 7 .....	35
Obrázek 16 a - e: Řezy návarů vzorků č. 6,9,10,11,12.....	37
Obrázek 17: Teplota navařovaného plechu - pulzace.....	39
Obrázek 18: Srovnání ploch návaru a závaru zjištěných na metalografickém výbrusu.....	40



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Závislost mechanizace na operačním faktoru [5].....	14
Tabulka 2: Chemické složení a fyzikální vlastnosti Stellite 6 [39].....	25
Tabulka 3: Tepelná účinnost [40] [41] [42] .....	25
Tabulka 4: Typické složení Celsit V - P [48] .....	29
Tabulka 5: Parametry pulzace .....	30
Tabulka 6: Podávání prášku .....	31
Tabulka 7: Hmotnosti vzorků před navařením .....	33
Tabulka 8: Vliv pulzace.....	34
Tabulka 9: Maximální teploty .....	36
Tabulka 10: Podávání prášku .....	36
Tabulka 11: Zředění.....	38
Tabulka 12: Účinnost vlivem podávání.....	38

## Cíle práce

Cílem bakalářské práce je v první části se teoreticky seznámit s problematikou navařování, metodami, parametry a navařováním kobaltových slitin plazmatem. V druhé fázi je cílem práce experimentálně určit účinnost navařovacího procesu v závislosti na rychlosti podávání a frekvenci pulzace pro kobaltovou návarovou slitinu typu Stellite 6.

## Zkratky

ZM	–	základní materiál
PM	–	přídavný materiál
MIG	–	metal inert gas
MAG	–	metal active gas
TIG	–	tungsten inert gas
WIG	-	wolfram inert gas
PTA	-	plasma tranferred arc
CO <sub>2</sub>	–	oxid uhličitý
H <sub>2</sub>	-	vodík
O <sub>2</sub>	-	kyslík
He	-	helium
Cr	-	chrom
C	-	uhlík
Ni	-	nikl
W	-	wolfram
Mo	-	molybden
°C	-	stupeň celsia
CAD	-	computer aided design
CNC	-	Computer Numerical Control

## 1. Navařování kovu

Navařování je technologický proces, při kterém dochází k natavení nového povlaku přídavného materiálu na základní materiál. Navařený materiál se aplikuje za účelem zlepšení povrchových vlastností původního materiálu nebo opravení poškozené povrchu materiálu obdobným materiálem.

Novým povlakem lze zvýšit odolnost proti korozi, abrazi, erozi, adhezi, tepelnému namáhání a dalším druhům opotřebení. Pro navařování se používá přídavný materiál ve formě prášku, drátu, pásek a trubiček. [1]

V první fázi dochází k ohřátí základního materiálu nad křivku likvidu a vytvoření tavné lázně. V tavné lázni se mísí základní materiál s přídavným materiálem, jež povychladnutí a krystalizaci vytvoří návar. Výsledné vlastnosti povrchu návaru ovlivňuje základní a přídavný materiál a jejich promísení.

Při rychlém chladnutí může docházet ke vzniku nerovnovážných strukturních fází (např. martenzit), které lze omezit předehřátím základního materiálu. Mezi návarem a základním materiálem dochází k tvorbě promísené, nestejnorodé struktury. Dalšími nežádoucími účinky navařování, ale i svařování, je vznik vnitřního pnutí a deformací. [2]

Povrchová úprava navařováním se liší od ostatních povrchových úprav (např. žárové zinkování, galvanické pokovování, chemicko-tepelné zpracování atd.) především v následujících bodech:

*Výhody navařování:*

- metalurgické propojení ZM a PM
- nízká, převážně nulová porozita naneseného povlaku
- funkční vlastnosti v závislosti na kombinaci zvolených prvků  
možnost navaření povlaku o větší tloušťce
- snížení nákladů na výrobu
- možnost mechanizace. [3]

*Nevýhody navařování:*

- tepelné ovlivnění základního materiálu
- nutnost předehřátí základního materiálu – ne vždy
- rozdílná struktura ZM a PM
- vznik pnutí a deformace základního materiálu i návaru
- nutnost opracování návarové vrstvy
- nelze zhotovit velmi tenké vrstvy návaru. [3]

## 1.1 Metody navařování

Navařování je prováděno základními čtyřmi způsoby: ruční, poloautomatické, automatické a robotické. Ruční navařování závisí na zručnosti svářečského operátora. Poloautomatické závisí také na zručnosti, nicméně základní materiál je mechanicky dopravován do tavné lázně. Automatický proces je kompletně řízen strojem, který řídí elektrický oblouk, navařovací parametry a trajektorii. Robotické navařování se aplikuje v případě většího počtu navařovaných struktur na složité součásti nebo sestavy. [4]

Běžně používané metody navařování jsou navařování plamenem, elektrickým obloukem (obalená elektroda, MIG/MAG, plazma, pod tavidlem), laserem a hybridní – kombinace dvou metod (laser + elektrický oblouk, plazma + el. oblouk, plazma + laser).

Metody navařování se liší podle tavicí teploty, tloušťky základního a navařovaného materiálu, složení materiálu a ekonomické náročnosti dané metody. Optimální postup je takový, během kterého se materiál navařuje za nízkou cenu a zároveň návar disponuje přijatelnou kvalitou. Se zvyšující se mechanizací operační faktor roste. [5]

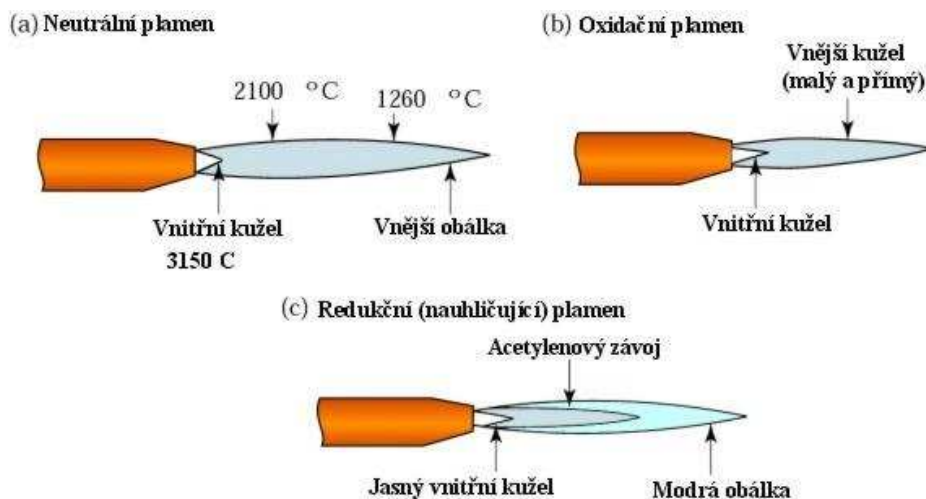
Tabulka 1: Závislost mechanizace na operačním faktoru [5]

Metoda	Operační faktory [%]
Ruční	5–30
Poloautomatické	10–60
Robotické	40–90
Automatické	50–98

### 1.1.1. Navařování plamenem

Navařování plamenem využívá tepla vzniklého spalováním směsi hořlavého plynu a kyslíku nebo vzduchu. Pro navařování se používají směsi acetylenu s kyslíkem, kyslíku s vodíkem, výjimečně směsi složené z metanu, propanu a butanu.

Pro navařování plamenem je nejvýhodnější kyslíko – acetylenová směs, která vytváří vysoké teploty a má vysokou rychlost hoření. Typy plamene lze rozdělit na tři druhy, které jsou závislé na poměrovém složení  $C_2$ ,  $H_2$  a  $O_2$ , a to na redukční, neutrální a oxidační plamen. [3]

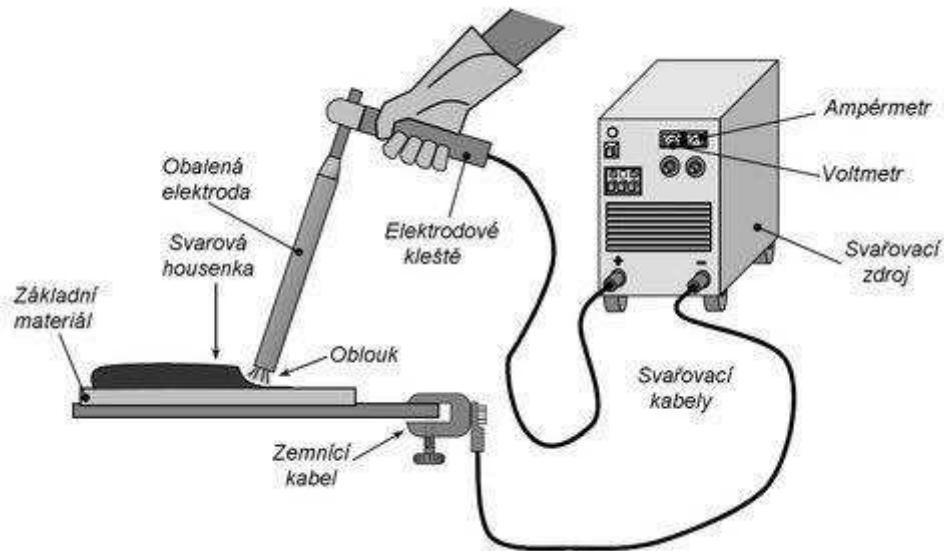


Obrázek 1: Druhy plamenů [5]

Kvalita návaru závisí na rychlosti pohybu a vysokého přehřevu základního materiálu. Dále musí být povrch základního materiálu dokonale vyčištěn od rzi, nečistot a dalších cizích látek. Nejvhodnější metodou odstranění těchto nečistot je obrábění nebo broušení povrchu. [6]

### 1.1.2. Navařování ruční obalenou elektrodou

Navařování obalenou elektrodou je metoda obloukového navařování, kdy oblouk hoří mezi základním materiálem a tavící se obalenou elektrodou. Oblouk vzniká právě v momentě dotyku mezi ZM a elektrodou. Tato metoda patří mezi nejstarší metody navařování, v současnosti je nahrazována produktivnějšími metodami.



Obrázek 2: Schéma navařování obalenou elektrodou [7]

Obalená elektroda je složena ze dvou částí – jádra a obalu. Jádro tvoří přídavný materiál. Obal elektrody po roztavení chrání tavnou lázeň vytvořením ochranné atmosféry a strusky, která prodlužuje dobu chlazení, a je jí nutno následně odstranit. Existuje několik typů elektrod, které se liší podle typu obalu - bazický, celulóznový, rutilový nebo kyselý obal. Elektrody se liší podle chemického složení, stability oblouku a rychlosti nanášení návaru. Nejčastěji je používaná elektroda s bazickým obalem, který zaručuje nízkou absorpci vlhkosti a dobré mechanické vlastnosti. Elektrody s dvojitou vrstvou tvoří rutilový obal, na kterém je vrstva bazického obalu. [3] [8]

Výhodou této metody je jednoduché a přenosné zařízení, možnost navařování v polohách a není potřeba externí zařízení plynového hospodářství. Nevýhodou této metody je malá produktivita a nutnost odstranění strusky. Délka návarů je limitována délkou elektrody, poté je nutné elektrodu vyměnit. [9]

### 1.1.3. Navařování metodou MIG/MAG

Metoda navařování MIG/MAG je metoda obloukového navařování v ochranné atmosféře pomocí tavící se kovové elektrody. Oblouk, který vzniká mezi tavící se elektrodou a základním materiálem (tavnou lázní), vytváří teplo k odtavení přídavného materiálu. Ochranný plyn omezuje přístup vzduchu ke svarové lázni a pomáhá k zapálení a stabilizaci elektrického oblouku.

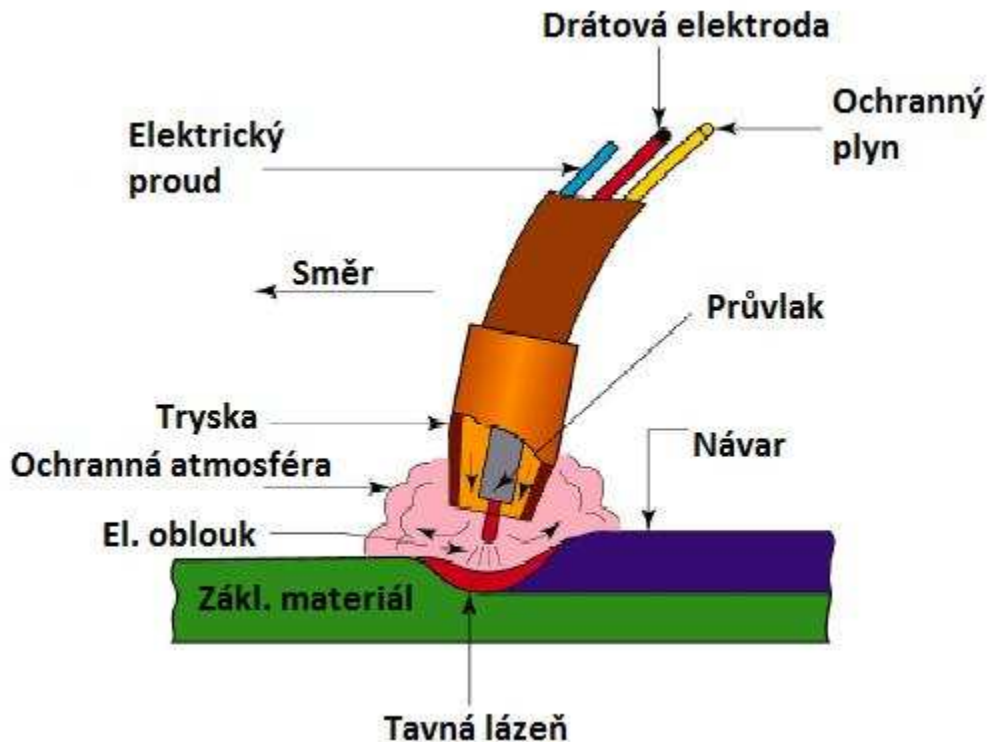
V tomto procesu se drát automaticky přivádí svařovacím hořákem do místa navařování a taví se v oblouku. Drát působí jako vodivá elektroda a zároveň navařovaný kov. Navařovací drát je strojem dodáván z bubny nebo cívky pomocí kladek vedením do svařovacího hořáku. Celému procesu dodává energii svářecí zdroj. Klíčovými parametry pro optimální výkon navařování jsou proud, napětí, rychlost podávání drátu, rychlost posuvu hořáku, délka oblouku a množství průtoku plynu. [10]

Tato metoda obloukového navařování se rozlišuje podle druhu ochranného plynu, který vstupuje nebo nevstupuje do chemických reakcí ve svarové lázni.

Metoda MIG využívá inertního plynu, který nereaguje s taveninou a zabraňuje oxidaci navařeného kovu a základního materiálu. Jako ochranný plyn se využívá argon, helium nebo jejich směsi. Tato metoda je vhodná pro navařování neželezných kovů – hliníku a jeho slitin, mědi, bronzu a titanu.

Metoda MAG využívá aktivního plynu, který reaguje s taveninou, a kromě zamezení oxidace navařeného materiálu vstupuje aktivně do chemických reakcí a podílí se na procesech, které probíhají během vzniku návaru. Jako aktivní plyn se nejčastěji používá směs Ar s oxidem uhličitým, kyslíkem, případně dalšími plyny ( $H_2$ , He). Tato metoda se využívá k navařování legovaných a nelegovaných ocelí.





Obrázek 3: Schéma hořáku MIG/MAG [11]

Pro tyto metody obloukového navařování se používá stejnosměrný proud připojený obvykle elektrodou na kladný pól. Stroje na střídavý proud jsou nákladné a drahé na provoz, používají se pouze k navařování barevných kovů. Připojení na zápornou elektrodu se používá z důvodu špatné stability elektrického oblouku. Obě metody MIG/MAG používají stejné zdroje. [12]

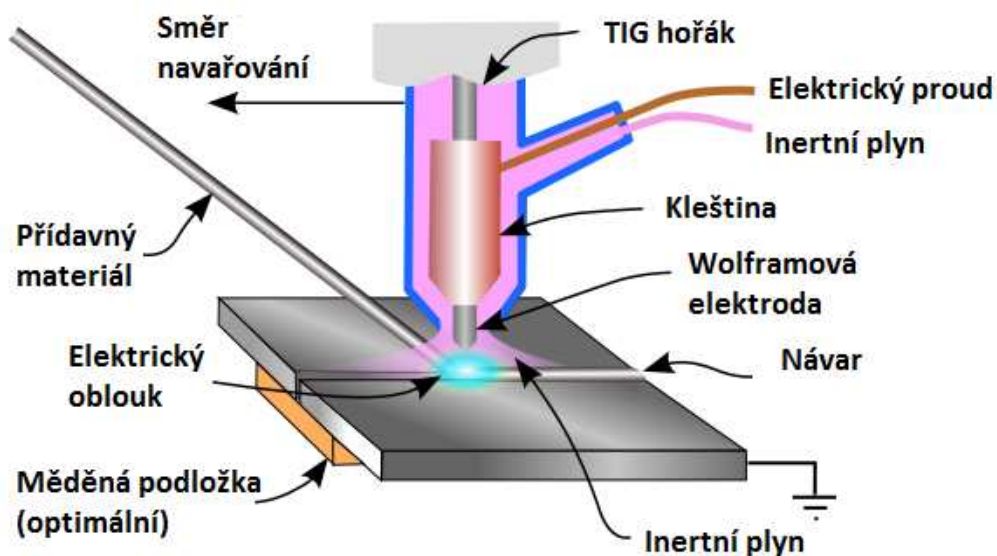
Přenos kovu z elektrody do svarové lázně neboli roztavení přídavného materiálu a jeho přechod do svarové lázně probíhá různým způsobem v závislosti na vybraných parametrech jako je proudová hustota, napětí, složení přídavného materiálu a druh ochranného plynu. Jednotlivé druhy přenosů přídavného materiálu lze rozlišit na: zkratový, kapkový, impulsní, sprchový, moderovaná sprcha a přenos rotujícím obloukem. [13]

Pro navařování bude nejčastěji využíván zkratový přenos charakterizovaný minimálním ovlivněním ZM a tím i minimálním promísením. Vysokovýkonné metody svařování, např. rotující oblouk nebo moderovaná sprcha, jsou charakterizované hlubokým závarem, a proto nejsou vhodné pro navařování slitin s rozdílným chemickým složením ZM a PM.

#### 1.1.4. Metoda TIG

Metoda TIG je metoda obloukového svařování, kdy oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Teplota tání wolframové elektrody je 3410°C. Okolí lázně je chráněno inertní atmosférou tvořenou argonem, heliem nebo jejich směsí. Výhodou této metody je možnost kontroly svarové lázně. Nejčastější použití této metody je pro ruční navařování. Nevýhodou je malá produktivita, vysoká náročnost na zručnost obsluhy a vysoké tepelné ovlivnění oblasti základního a přídavného materiálu. [14]

Svařovací hořák pro metodu TIG je složen z trysky (dýza) vyrobené z keramického materiálu, který je odolný vůči vysokým teplotám oblouku. Měděná kleština je chlazena kapalinou, průměr trysky je 6 až 15 mm v závislosti na ochraně tavné lázně a elektrody. Nadměrný průtok ochranného plynu z trysky může dát vzniknout turbulenci, která má za následek snížení účinnosti ochranného plynu. Tento problém lze částečně vyřešit pomocí plynových čoček, které usměrňují ochrannou atmosféru do oblasti tavné lázně. [15]



Obrázek 4: TIG metoda [16]

Během ručního navařování svářeč drží v jedné ruce hořák a ve druhé navařovací drát. Při částečné mechanizaci je drát přiváděn bowdenem do oblouku pomocí motoru a kladek. Při automatizovaném navařování stroj sám řídí hořák i podávání drátu. [17]

Při svařování metodou TIG lze použít tři druhy polarity:

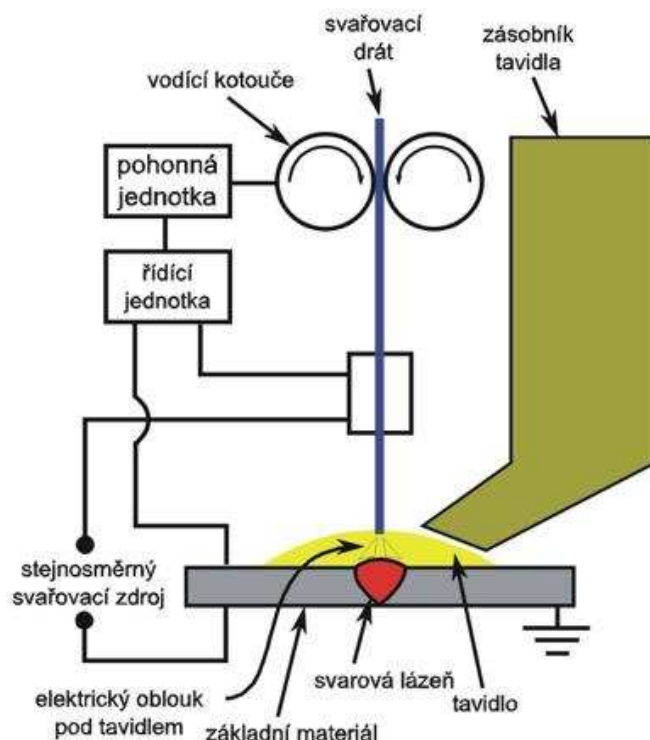
*-Stejnoseměrný proud s přímou polaritou:* elektroda je připojena na záporný pól, materiál na kladný pól, nejvíce využívaný způsob, návar je úzký a hluboký.

*-Stejnoseměrný proud s nepřímou polaritou:* elektroda je připojena na kladný pól zdroje, materiál na záporný pól, nutnost chladit elektrodu, aby nedošlo k jejímu tavení. Vhodné pro navařování hliníku a hořčíku, dále pro tenký základní materiál.

*-Střídavý proud:* nejméně využívaný způsob, vhodné pro navařování slitin hliníku. [18]

### 1.1.5. Navařování pod tavidlem

Tato metoda pracuje na principu navařování elektrickým obloukem, kdy elektrický oblouk hoří mezi základním materiálem a tavící se elektrodou – přídavným materiálem. Přídavný materiál jen kontinuálně přiváděn ve formě drátu, trubičky nebo pásku. Oproti ostatním metodám se liší v ochraně svarové lázně. Ostatní metody chrání tavnou lázeň před oxidací ochrannými plyny, při navařování pod tavidlem chrání tavnou lázeň práškové tavidlo, které během celého procesu zasypává lázeň. Tavidla jsou tavná, keramická nebo sintrovaná. Pod vrstvou tavidla hoří elektrický oblouk. Tavidlo zabraňuje prostupu UV záření a nebezpečných plynů do okolí, leguje a formuje návar. V praxi se používá navařování s jedním drátem, navařování s dvěma dráty vedle sebe nebo za sebou, páskou a dvěma páskami. [3] [19]



Obrázek 5: Navařování pod tavidlem [20]

Výhodou této metody je vysoká produktivita a rychlost navařování – až 40 kg navařeného kovu za hodinu, vysoký průvar, minimální kouřivost a bezpečnost operátora vůči účinkům záření. [21]

### 1.1.6. Laserové navařování

Laserové navařování je vysoce kvalitní, minimálně tepelně deformuje oblast základního materiálu a disponuje vysokou rychlostí a kompaktností spojení ZM a PM. V tomto procesu se materiál taví absorpcí tepla vyvolané opticky usměrněným laserovým svazkem.

Kovový prášek se během procesu podává tryskou pod laser, který prášek roztaví a vznikne tavná lázeň, jejíž hloubka odpovídá jedné vrstvě. Dalšími způsoby jsou navařování drátu nebo prášku předem umístěného v místě návaru. Z těchto tří způsobů je prokázáno, že podávání prášku pod trysku je neúčinnější. Tloušťka návaru je 0,05 až 2 mm a šířka může být menší než 1 mm [22]. Plnohodnotná vrstva vznikne, když se dráhy překrývají přes sebe. Pohyb laseru je řízen automaticky pomocí CAD systémů CNC stroje. [23]

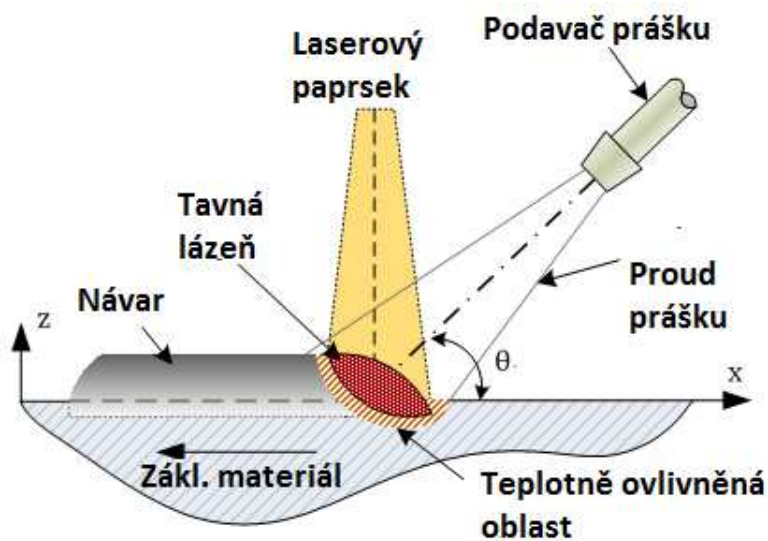
Pro navařování se používají tři typy laserů:

- Diodový laser s vlnovou délkou 808 nebo 940 nm
- Nd:YAG laser (1064 nm)
- CO<sub>2</sub> laser s vlnovou délkou 10 μm.

Diodový laser dosahuje oproti CO<sub>2</sub> při vyšší absorpci paprsku, vyšší rychlost navařování za srovnatelných podmínek a třikrát více energie pro vytvoření taveniny. [24]

Kvalita návaru v prvé řadě závisí na rychlosti a množství přiváděného prášku, rychlosti posuvu a výkonu laserového paprsku. [25]

Metoda laserového navařování je vhodná pro rapid-prototyping metodu layer-by-layer (navařování nové vrstvy na předchozí vrstvu), což umožňuje vytvořit geometricky složitou 3D součást s homogenní strukturou. Povlak vytvořený laserovým navařováním je čistý, ale potřebuje další úpravy obráběním. Struktura zrna je dobrá a má vlastnosti lepší, než je základní materiál. Tento způsob výroby snižuje dobu potřebnou ke zhotovení součásti a snižuje finanční náročnost procesu. [26]



Obrázek 6: Laserové navařování [27]

V porovnání s plazmovým obloukem má laserový svazek vyšší koncentraci energie, ovšem energická účinnost je nižší a zároveň jsou vyšší náklady na provoz. [28]

### 1.1.7. Plazmové navařování

Metoda PTA je metoda plazmového navařování, vynalezená v roce 1960. Tímto procesem se zvyšuje pevnost, odolnost proti opotřebení a korozi a náchylnost k tečení povrchu kovových materiálů. Působením plazmového oblouku dochází k tavení základního a přídavného materiálu a následným tuhnutím dochází k vzájemnému spojení.

Plazma je vysoce ionizovaný plyn složený z elektronů a iontů, které vzniká odtržením elektronu z elektronového obalu nebo roztržením molekuly. Podmínkou vzniku plazmatu je kvazineutralita (stejný počet kladně a záporně nabitých částic). Plazma je vysoce elektricky a magneticky vodivé, využívá se při vzniku elektrického oblouku, v zářivkách a zobrazovacích panelech.

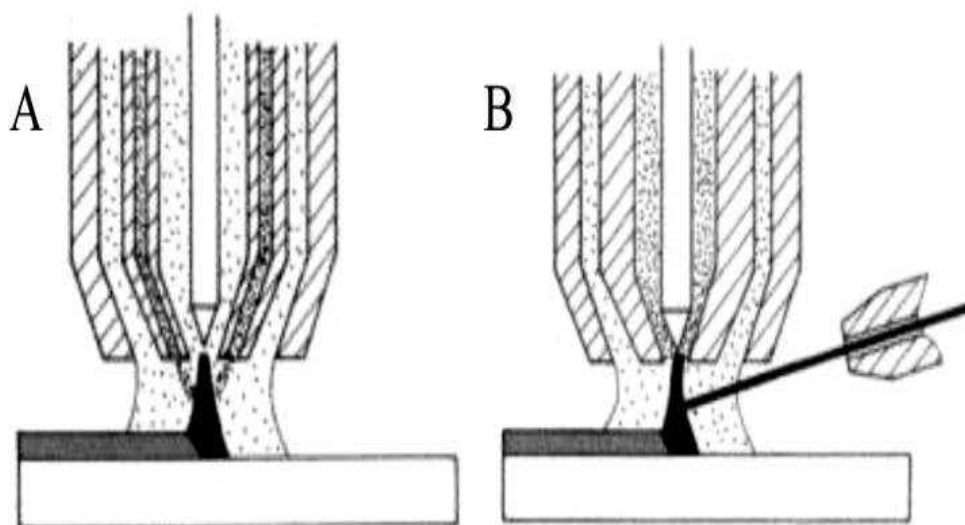
Plazmové navařování probíhá pomocí elektrického oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou umístěnou v hořáku a základním materiálem (PTA – přenesený oblouk). Pro PTA metodu se používají tři plyny – plazmový, ochranný a podávací.

Inertní plazmový plyn je veden dutým otvorem do trysky směřující do místa konce wolframové elektrody. Tento plyn slouží k vytvoření plazmatu a ochraně elektrody. Plazmový plyn je argon, helium, nebo jejich směs. Plazmový oblouk je usměrněn plazmovou tryskou v plazmový sloup s teplotou 10000 až 15000 °C. [29]

Tryska hořáku omezuje plazmový oblouk a lze s ní řídit jeho tvar. Tryska je vyráběna v několika různých průměrech.

Ochranný plyn prochází otvorem vnějšího okraje hořáku a vytváří ochrannou atmosféru v okolí místa návaru a zamezuje kontaminaci atmosférickými nečistotami. Tyto plyny jsou argon a směs argonu s vodíkem. Přítomnost atmosférického vzduchu během navařování negativně ovlivňuje strukturu návaru.

Mezi otvorem pro přívod plazmového a ochranného plynu se nachází tryska pro přívod práškového materiálu. Tento materiál je do hořáku vháněn pomocí plynu (podávací, dopravní plyn), nejčastěji argonu (Obr. 7 A) a taví se. Velikost prášku je obvykle 50 – 150 μm. Při použití přídavného materiálu ve formě drátu je drát přiváděn boční trubičkou (Obr. 7 B) [30].



Obrázek 7: Schéma hořáku PTA [31]

Z důvodu umístění wolframové elektrody uvnitř trysky hořáku je obtížné zapálit oblouk stykem. Vysokofrekvenční výboj vytváří elektrické jiskry mezi wolframovou elektrodou - katoda a tělem hořáku – anodou, vzniká pilotní oblouk. Pilotní oblouk je krátký, slouží k zapálení a stabilizaci hlavního oblouku. [30] [32]

V případě PTA navařování stačí k dosažení požadovaných vlastností zpravidla jedna vrstva. Hlavní výhodou je vyšší rychlost svařování, malá tepelně ovlivněná oblast, dobré propojení základního a přídavného materiálu. Na návaru neulpívá také žádná struska. [28]

Nejdůležitějšími parametry, které určují výslednou kvalitu plazmového navařování jsou:

- navařovací proud, napětí
- objemový tok plazmového a podávajícího plynu
- navařovací rychlost. [33]

Obě technologie (PTA a TIG) využívají wolframové netavící se elektrody a ochranný plyn. Svařování plazmatem zužuje oblouk na malou plochu svařence a zvyšuje tepelnou hustotu energie. Oproti navařování laserem je plazmové navařování méně finančně a energeticky náročné. [28]

Metoda PTA se typicky aplikuje pro:

- těsnící plochy ventilů
- Sedla ventilů spalovacích motorů
- Řezné nástroje
- Procesní a zpracovatelská technika, zemědělství
- Energetika, chemická a jaderná technika – sedla a vřetena generátorů
- Vytlačovací šrouby
- Formy a výkovky. [34]

## 1.2 Materiály pro navařování

Přídavný materiál pro navařování může být použit v několika formách – prášek, drát, pásek nebo trubička. Volba závisí na zvolené technice navařování. Odolné materiály se zpravidla dělí podle druhu matrice – železná, kobaltová a niklová.

Vzhledem k tepelné roztažnosti základního a přídavného materiálu musí mít koeficient roztažnosti oba materiály podobný. Při různorodém koeficientu mohou vznikat při tuhnutí praskliny.

Materiály na bázi železa jsou martenzitické, austenitické a slitiny s vysokým obsahem karbidů. Martenzitické a austenitické slitiny se používají k obnově tvaru a tvrzení povrchu, jsou odolné proti rázům a otěru. Materiály s vysokým obsahem karbidů mají nízkou rázovou odolnost a vynikající odolnost proti otěru. Slitiny na bázi niklu a kobaltu jsou drahé, využívají se v ekonomicky opodstatněných situacích – například pro vysokoteplotní aplikace. [35]

### 1.2.1. Slitiny typu Stellite 6

Slitiny Stellite jsou vyráběny firmou Deloro Stellite Company. Tuto slitinu vynalezl roku 1900 americký hutník Elwood Haynes jako náhražku za stříbro. Materiály typu Stellite jsou složeny z kobaltu, molybdenu, chromu, niklu, wolframu, železa, boru, hliníku, manganu, uhlíku, fosforu, křemíku, síry a titanu. Jednotlivé slitiny se liší podle různých poměrů těchto prvků, přičemž obsahují vždy čtyři až šest z těchto prvků. Tyto slitiny nemají žádný specifický vzorec, celkový počet je okolo 60 druhů, např. Stellite 1, Stellite 6, Stellite 12. Obecnými



vlastnostmi Stellite je nemagnetičnost, tvrdost, houževnatost a vysoká odolnost vůči korozi [36]. V současnosti jsou tyto slitiny dodávány většinou dodavateli přídavných materiálů pod různými obchodními názvy např. Celsit (DEW, Německo)

Stellite 6 je materiál na bázi kobalt – chromové matrice. Tento materiál má vysokou odolnost proti opotřebení a vynikající chemickou a korozi odolnost. Chemické prvky Cr, C, W a Mo dodávají odolnost proti kavitaci, abrazi a erozi. Kombinace kobaltu a chromu přispívá k vysokému bodu tavení, který umožňuje použití materiálu k výrobě rezných nástrojů. Malé množství uhlíku zabraňuje kavitaci, vysoké množství snižuje tření. Detailní chemické složení viz. (Tab. 2). Vzhledem k vysoké tvrdosti slitin typu Stellite 6 je složité návar obrábět během dokončovacích operací. Při obrábění jsou použity vysoce výkonné a speciální zařízení, které materiál nejčastěji brousí, řezání se používá jen ve výjimečných situacích. [37] [38]

Tabulka 2: Chemické složení a fyzikální vlastnosti Stellite 6 [39]

Co	Cr [%]	W [%]	C [%]	Ostatní prvky	Tvrdost	Hustota	Teplota tavení
Základní prvek	27 - 32	4 - 6	0,9 -1,4	Ni, Fe, Si, Mn, Mo	36-45 HRC 380-490 HV	8,44 g/cm <sup>3</sup> 0,305lb/in <sup>3</sup>	2340-2570 °F 1285-1410 °C

### 1.3 Účinnost navařovacích procesů

Tepelná účinnost se skládá z účinnosti plazmového oblouku a účinnosti tavení. Účinnost tavení je závislá na parametrech celého procesu, účinnost plazmového oblouku je množství tepelné energie přenesené na navařený materiál.

Tabulka 3: Tepelná účinnost [40] [41] [42]

Metoda	Tepelná účinnost [%]
Laserový paprsek	90
MIG	85
Plasma	65
TIG	75

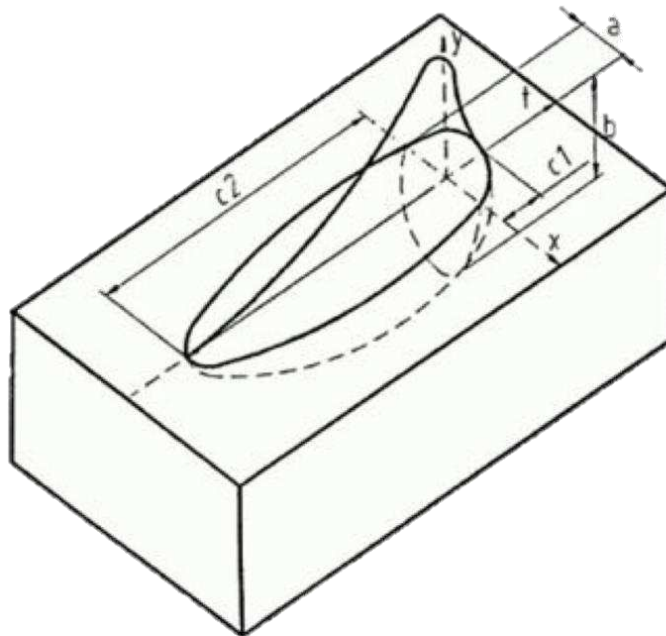
Tepelný příkon  $Q$  [KJ/mm] je množství tepelné energie, které je přeneseno elektrickým obloukem do svarové lázně, kde  $\eta$  [-] je tepelná účinnost přenosu tepla a  $v$  [mm/min] je rychlost navařování.

$$Q = \frac{U \cdot I \cdot \eta \cdot 60}{1000 \cdot v} \quad (1)$$

## 1.4 Modelování navařovacího procesu

Pro simulaci navařovacích procesů lze použít výpočtové postupy obvyklé pro oblast svařování, např: navařování lze simulovat pomocí metody konečných prvků. Tato simulace tepelně analyzuje celý proces a předpovídá strukturu návaru. Výsledky simulace navařování lze použít k vysvětlení podstaty komplexních jevů a může posloužit k optimalizaci parametrů celého procesu, např. rychlosti svařování, předehřevu součásti. Dále lze předpovědět zbytkové namáhání vlivem tepelného ovlivnění oblasti v místě návaru a vzniku trhlin. [43]

Nejčastěji používaným modelem je model od firmy Goldak s prostorovým dvojitým elipsoidem (Obr. Obrázek 8).



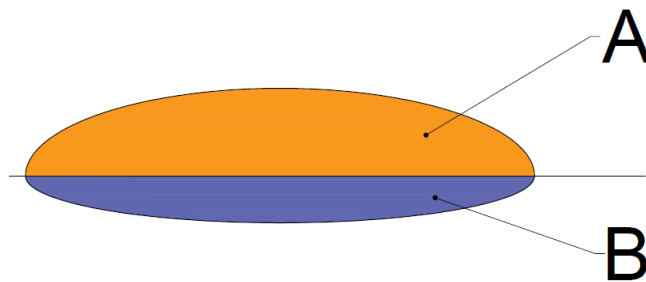
Obrázek 8: Model elipsoidního zdroje tepla [44]

## 1.5 Zředění

Hodnota zředění D (z ang. Dilution) udává podíl základního kovu uvnitř návaru. Obvyklá hodnota zředění nabývá v rozmezích 20 až 40 %. Tato hodnota závisí na parametrech svařování a použité metodě, v některých případech může být v řádech procent, naopak při svařování kyslíko-acetylenovým plamenem bez přídavného materiálu 100%. Ze zvyšující se nerovností povrchu základního materiálu roste hodnota zředění. [45]

$$D = \frac{B}{A+B} \cdot 100 \quad (2)$$

Metoda PTA produkuje hodnotu zředění 3 až 10%. Tato hodnota souvisí se správnou stabilitou plazmového oblouku. Nízké zředění snižuje spotřebu prášku, klesá výrobní cena a doba navařování. [46]

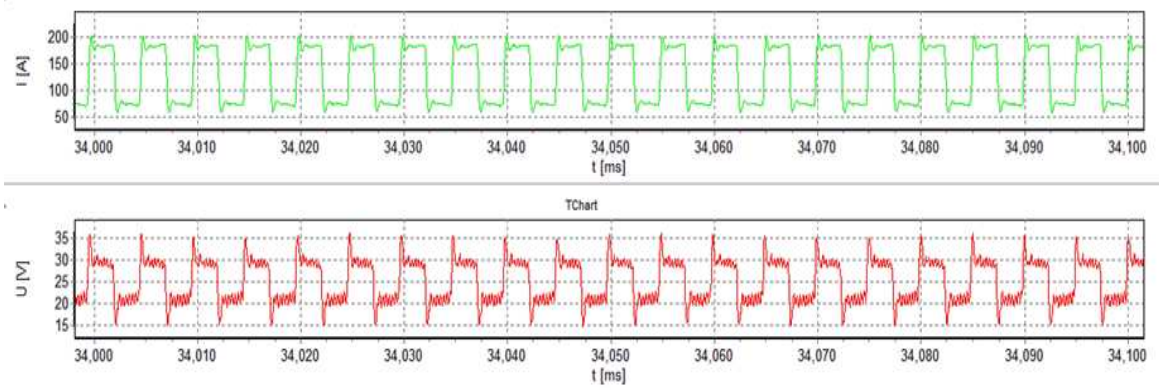


Obrázek 9: Řez v rovině kolmé k podélné ose návaru. Plocha A je návar a plocha B je závar.

Pro zjištění velikosti zředění se používá metoda řezu v rovině kolmé k podélné ose návaru.

## 1.6 Pulzace

Pulzní navařování je střídání vysokého a nízkého proudu. Pulzací se během navařování metodami TIG a plazmového oblouk oproti konstantnímu proudu snižuje tepelný příkon, zvyšuje promíchání tavné lázně. Ředění materiálu vlivem pulzace klesá následkem menšího množství vneseného tepla, a vede k jemnějším a homogennějším strukturám navařeného povlaku. V případě navařování kontinuálním proudem dochází ke zvyšování zředění se zvyšující se intenzitou navařovacího proudu. [47] Příklad pulzace plazmového oblouku při navařování frekvencí 19 Hz je na (obr. 10).



Obrázek 10: Pulzace

Impulzní navařování probíhá při metodě MIG/MAG jako střídání vysokého a nízkého proudu. Přenos materiálu probíhá oddělením kapičky z drátu pulzem vysokého proudu, nízký proud udržuje hoření oblouku.

## 2. Experimentální část

Experimentální část se zabývá závislostí účinnosti navařování na podávací rychlosti, proudu a frekvenci pulzace pro kobaltovou návarovou slitinu typu Stellite 6 – Celsit V – P s průměrnou zrnitostí 121 $\mu$ m (tavba 256358, DEW).

Tabulka 4: Typické složení Celsit V - P [48]

Co	C [%]	Cr [%]	W [%]
Základní materiál	1,1	28	4,5



Obrázek 11: Vzhled prášku Celsit V-P (DEW, Německo)

### 2.1 Příprava vzorků

Podložky pro navařování z plechů z materiálu Ocel 14 260/ 54SiCr6 byly očíslovány razníkem a poté zváženy na vahách Sartorius 1265 MP s přesností tisíciny gramu. Výsledná hmotnost vzorku vzešla z aritmetického průměru třech vážení, hodnoty jsou zaznamenány (viz Tabulka 7).

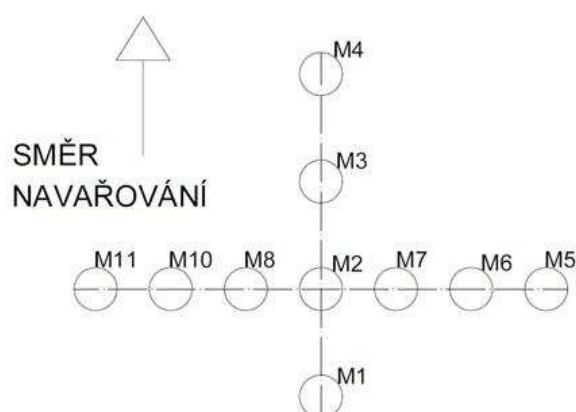
## 2.2 Definování parametrů - vliv pulzace

Při zjišťování závislosti pulzace byly parametry definovány dle (Tabulka 5). Délka strojové housenky měřila 57 mm, rychlost posuvu byla lineární 2,5 a podávání zvoleno 15. Vzorek číslo 3 byl navařován konstantním proudem 160 A, zbylé vzorky byly navařovány proudy 240 A a 80 A. Mezi těmito hodnotami proud pulzuje ve zvolené frekvenci. Množství podávajícího plynu bylo 2,65 l/min.

Tabulka 5: Parametry pulzace

Č. vzorku	Horní proud [A]	Čas horního proudu. [s]	Dolní proud [A]	Čas dolního proudu [s]	Frekvence [Hz]
3	160	-	-	-	-
4	240	0,5	80	0,5	1
5	240	0,01	80	0,01	50
6	240	0,0055	80	0,0056	90
7	240	0,0033	80	0,0034	150
8	240	0,0025	80	0,0025	200

Během navařování byly na plech připevněny termočlánky typu K připojené do měřicí ústředny ALMEMO 5690-2M. Poloha termočlánku byla zvolena podle dle (Obrázek 12).



Obrázek 12: Rozložení termočlánků

## 2.3 Definování parametrů – vliv podávání

Při určování vlivu podávající rychlosti byla zadaná frekvence pulzace 90 Hz pro všechny vzorky, horní proud 240 A a spodní proud 80 A. Strojová délka housenky byla neměnná, a to 57 mm. Podávání prášku se pohybovalo v rozmezí 10–40 (viz Tabulka 6). Hodnoty podávání jsou strojem předdefinované. K plechům byly navařeny termočlánky, aby byl zaznamenán průběh teplot v závislosti na čase. Pro zjednodušení jsou brány v potaz maximální teploty zaznamenané během celé operace.

Tabulka 6: Podávání prášku

Č. vzorku	Podávání prášku
6	15
9	10
10	20
11	30
12	40

Vzorky návarů byly po navaření nařezány na pile Labotom-3 od firmy Struers kotouči 46A25 od téže firmy s rozměry 250x1,5x32 mm. Řez byl veden v rovině kolmé na osu navařování ve středu délky návaru, aby se zamezilo rozdílným vlastnostem struktury na začátku a konci povlaku.

Výbrus by vylisován pomocí stroje CitoPress-1 firmy Struers a následně vyleštěn pomocí stroje Beta Grinder – Polisher s poloautomatickou hlavou Vector Power head.

Snímky vrozků byly vytvořeny pomocí mikroskopu Zeiss s mikroskopickou kamerou AxioCam Ers 5s.

Pomocí volně šiřitelného software IrfanView a GIMP byla ze snímků změřena plocha návaru a závaru v pixelech a stanovena konstanta přepočtu pixel-mm.

## 2.4 Navařovací stroj

Pro navařování byl použit automatický navařovací stroj PPC 250 R6 firmy KSK, s.r.o. (Česká Třebová). Tento stroj je určen k navařování rotačních součástí z čela nebo obvodů, programovatelným cyklem navařování. Navařovací materiál je ve formě prášku. Tento stroj je určen pro navařování v 6 osách – 4 osy pro pohyb hořáku, 2 osy pro polohovadlo. Maximální nosnost stolu je 70 kg a průměr stolu je 300 mm. [49]



Obrázek 13: Navařování na automatickém plazovém zařízení PPC 250 R6 (KSK,s.r.o., Česká Třebová)



### 3. Výsledky

Na 12 podložek byl navařen návar podle předem definovaných parametrů a následně se porovnávaly hmotnosti návaru v závislosti na těchto parametrech.

Tabulka 7: Hmotnosti vzorků před navařením

Č. vzorku	Hmotnost vzorku [g]			Průměrná hmotnost [g]
1	242,862	242,862	242,854	242,86
2	265,330	265,326	256,326	262,33
3	254,697	254,697	254,699	254,70
4	250,366	250,368	250,366	250,37
5	250,460	250,456	250,457	250,46
6	245,889	245,890	245,891	245,89
7	244,882	244,879	244,880	244,88
8	248,214	248,212	248,212	248,21
9	245,553	245,554	245,556	245,55
10	249,070	249,068	249,069	249,07
11	243,824	243,821	243,823	243,82
12	244,697	244,697	244,694	244,70

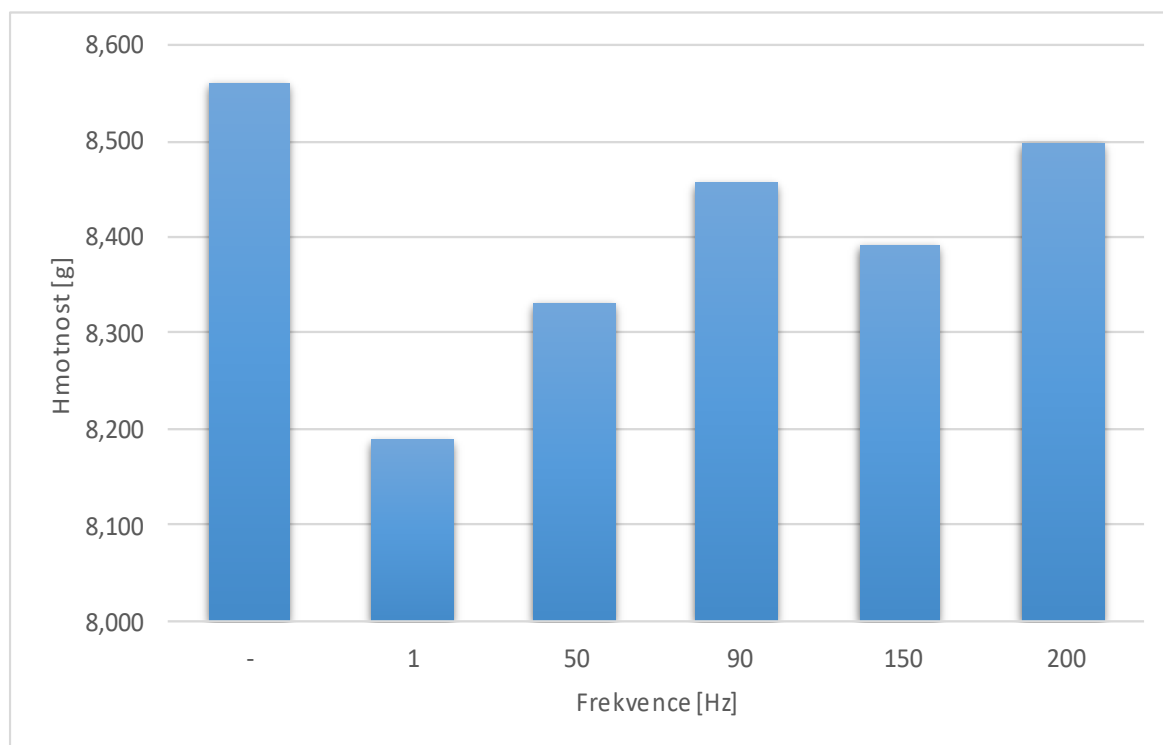
#### 3.1 Vliv pulzace

Dle zvolených parametrů (viz Tabulka 5) byly navařeny jednotlivé housenky návarů. Výsledná hmotnost navařeného vzorku je zaznamenána v (Tabulka 8). Hmotnost návaru byla stanovena jako rozdíl hmotností počátečního a navařeného plechu.

Tabulka 8: Vliv pulzace

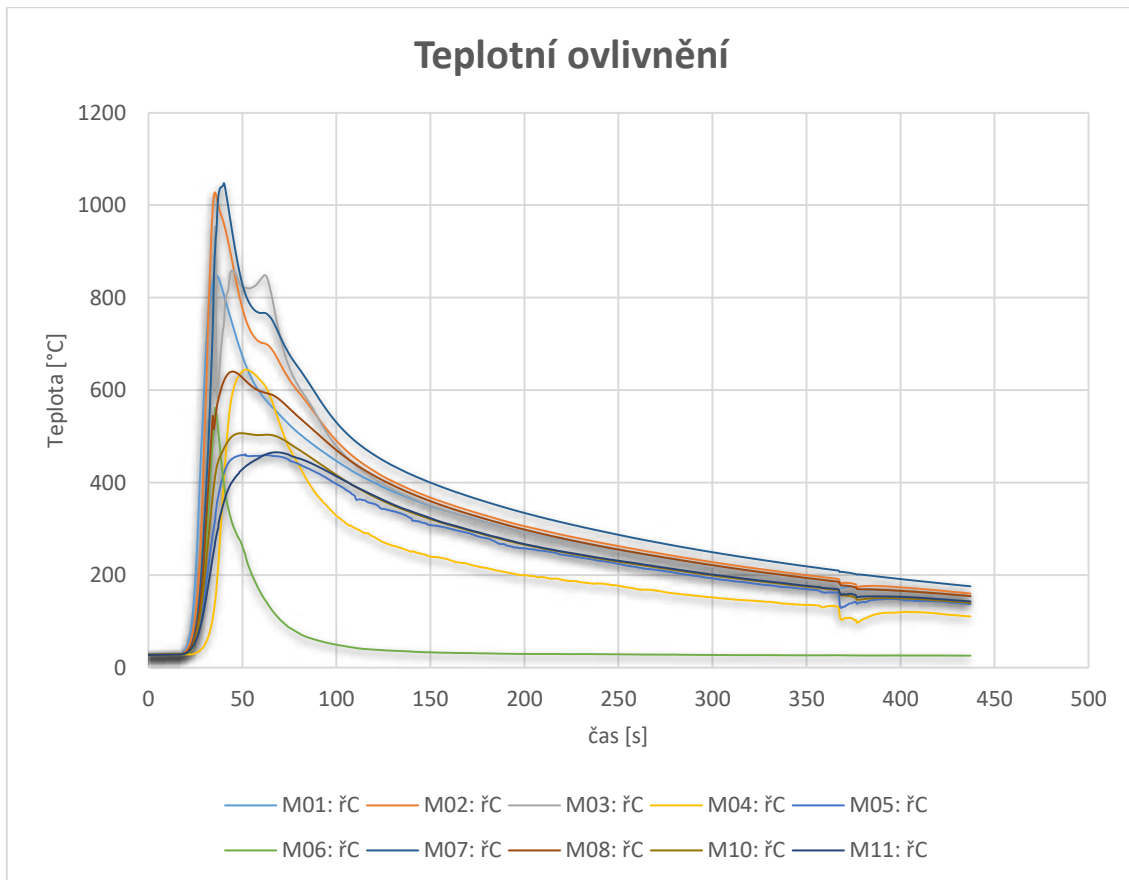
Č. vzorku	Počáteční hmotnost [g]	Konečná hmotnost [g]			Průměrná hmotnost [g]	Hmotnost návaru [g]
3	254,70	263,257	263,259	263,26	263,26	8,56
4	250,37	258,556	258,556	258,554	258,56	8,19
5	250,46	258,789	258,79	258,789	258,79	8,33
6	245,89	254,347	254,346	254,346	254,35	8,46
7	244,88	253,27	253,27	253,272	253,27	8,39
8	248,21	256,71	256,709	256,711	256,71	8,50

Hmotnost návaru je graficky znázorněna v (Obrázek 14). Na vodorovné ose je zvolená frekvence pulzace v Hertzech, na svislé ose hmotnost návaru v gramech.



Obrázek 14: Vliv pulzace, podávání 15, proud 160 A

Dle (Obrázek 12) byly zaznamenány průběhy teplot během celé navařovací operace.



Obrázek 15: Teplotní průběh vzorku č. 7

Pro srovnání byly do (Tabulka 9) zapsány maximální teploty během celé operace na pozici termočlánků M2 a M3 (viz Obrázek 12).

Tabulka 9: Maximální teploty

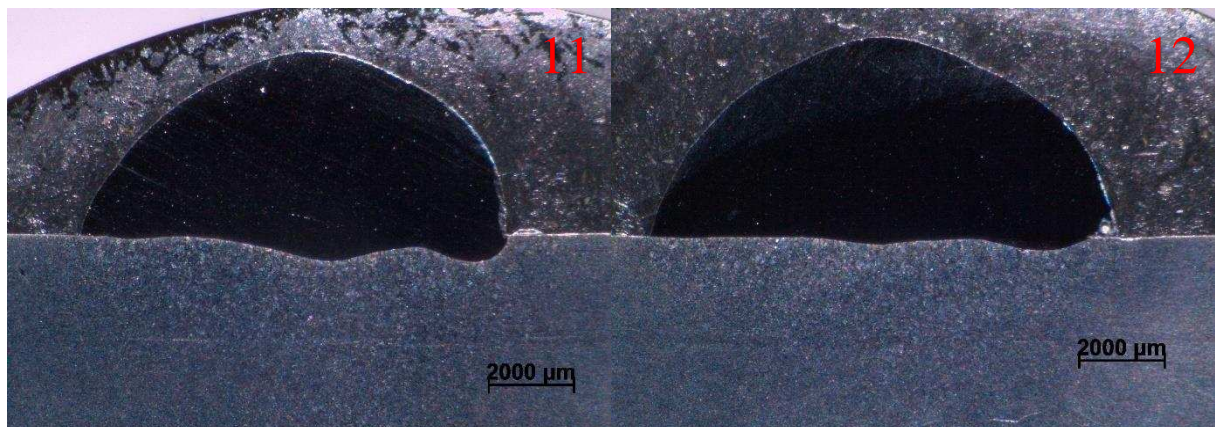
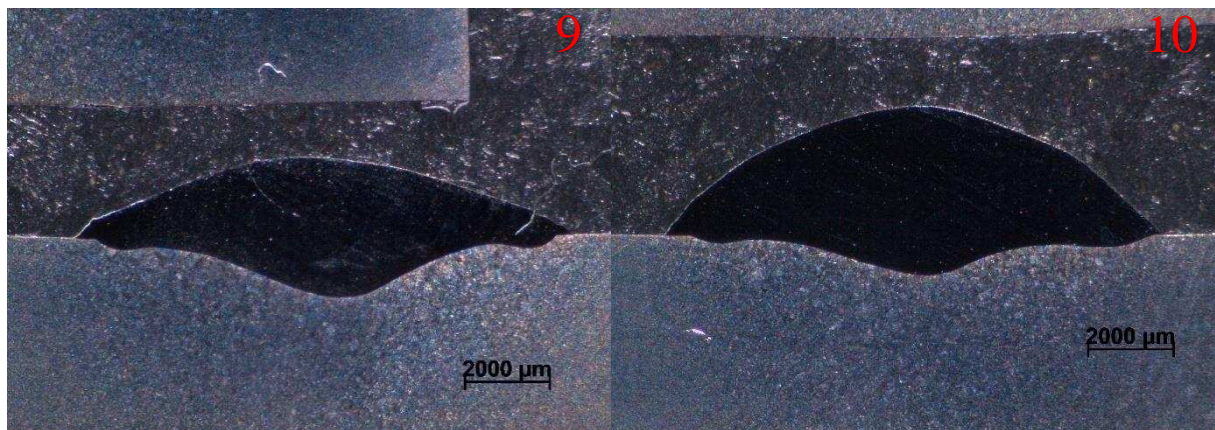
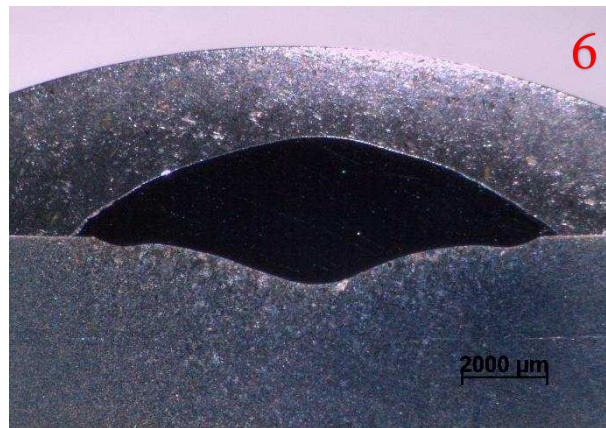
Č. vzorku	Teplota
3	1213,2
4	1024,0
5	1022,1
6	1032,4
7	1031,6
8	1047,8

### 3.2 Vliv podávání

Nejprve bylo nutné určit velikost podávání. Navařovací stroj má předdefinované hodnoty podávání, které odpovídají skutečným hodnotám v gramech. Proto bylo přistoupeno k odměření sypání hmotnosti prášku za 1 a 2 minuty, následné určení ustáleného množství podávání prášku za vteřinu.

Tabulka 10: Podávání prášku

Podávání	Hmotnostní tok prášku [g/s]
10	0,28
15	0,37
20	0,47
30	0,63
40	0,73



Obrázek 16 a - e: Řezy návarů vzorků č. 6,9,10,11,12

Velikost zředění byla vypočtena pomocí rovnice (2).

Tabulka 11: Zředění

Č. vzorku	Návar [pix]	Návar [mm <sup>2</sup> ]	Závar [pix]	Závar [mm <sup>2</sup> ]	Zředění [%]
9	450989	13,96	234665	1,31	8,55
6	561180	17,37	168238	0,94	5,11
10	752898	23,30	139679	0,78	3,23
11	1020202	31,57	90700	0,50	1,57
12	1193038	36,92	25418	0,14	0,38

Hmotnost návaru byla stanovena z objemu a hustoty. Objem byl vypočítán z obsahu návaru a fiktivní délky 2,5 mm. Podmínkou toho předpokladu je homogenní návar. Rychlost pohybu hořáku byla nastavena na stroji 2,5 mm/s. Účinnost navařování  $\eta$  byla vypočtena podle vzorce

$$\eta = \frac{m_s}{m_n} \quad (3)$$

kde  $m_s$ [g/s] je hmotnost prášku dávkovaného strojem a  $m_n$  [g/s] je hmotnost navařené struktury.

Tabulka 12: Účinnost vlivem podávání

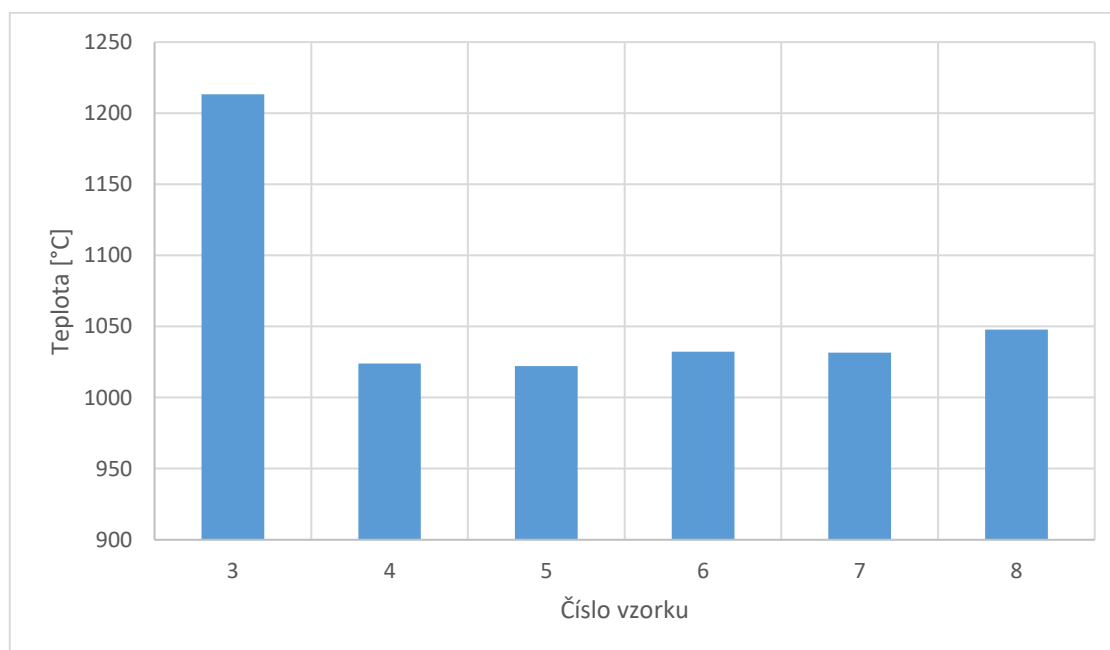
Č. vzorku	Podávání	Účinnost [%]	Teplota [°C]
6	15	91	1032,4
9	10	97	1044,9
10	20	96	947,7
11	30	97	916,1
12	40	97	880,4

## 4. Diskuze

### 4.1 Vliv pulzace

Návar bez pulzace dosáhl hmotnosti 8,56 g. Dle (Obrázek 17) je patrné, že se zvyšující se frekvencí pulzace roste účinnost navařování, a tato hodnota se blíží k hodnotě navařování bez pulzace i když jsou rozdíly poměrně malé

Teplota v návaru je nejvyšší v ose navařování a roste s rostoucí frekvencí pulzace. Rozdíl, mezi teplotou přenesenou navařováním s pulzací a bez pulzace je znatelný, v důsledku čehož je vnesené teplo a tepelně ovlivněná oblast základního materiálu vlivem pulzace nižší.

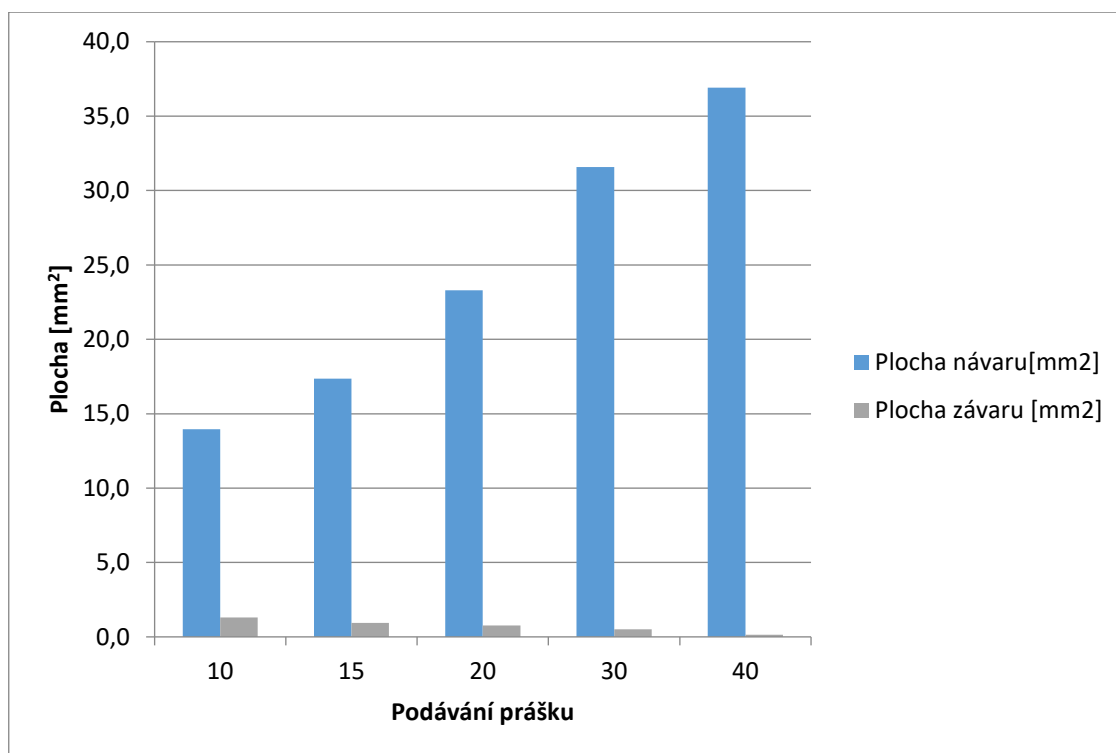


Obrázek 17: Teplota navařovaného plechu - pulzace

### 4.2 Vliv podávání

V první fázi byla zvolena metoda určování vlivu celkového návaru. V experimentálním zjišťování podávání stroje bylo zjištěno, že navařovací stroj nepodává prášek po celou operaci rovnoměrně. Na začátku operace stroj podává méně prášku, v závěrečné více. Proto bylo přistoupeno k metodě řezu v části, ve které je podávání konstantní.

Hodnoty zředění (viz Tabulka 11) odpovídají hodnotám. [46] Se zvyšujícím se podáváním klesá zředění. Množství tepla použitého pro natavení základního materiálu klesá se zvyšujícím se množstvím podávaného prášku. Nízké zředění způsobuje nízké promísení základního a přídavného materiálu, návar se dostatečně nespojí se základním materiálem a může dojít k odtržení návaru od základního materiálu.



Obrázek 18: Srovnání ploch návaru a závaru zjištěných na metalografickém výbrusu

Účinnost procesu se v závislosti na zvoleném podáváním příliš nemění. Pokud bychom dále zvyšovali dávkování prášku, prášek by se více sypal do okolí. Navařovací stroj PPC 250 R6 neumožňuje zvýšení podáváním nad hodnotu 40. Možností je manuální zásah do podávacího zařízení, což by znamenalo citelný zásah do nastavení stroje a aktuálních projektů, které na tomto stroji souběžně s tímto měřením probíhají.



## Závěr

V teoretické části byla vypracovaná rešerše zabývající se rozbořem problematiky navařování, metodami navařování, používaného přídavného materiálu se zaměřením na slitiny typu Stellite 6 (Celsit V-P, DEW, Německo), pulzace, modelování procesu, tepelné účinnosti a zředění.

V praktické části byly úspěšně navařeny vzorky kobaltové návarové slitiny Celsit V-P a vyhodnoceny návary v závislosti na velikosti podávací rychlosti a frekvence pulzace.

Navařování kontinuálním proudem 160 A má vyšší účinnost než navařování pulzním proudem (vyšší proud 240 A, nižší proud 80 A), což vyplývá z podstaty děje, kdy je prášek podáván kontinuálně zatímco plazmový proud pulzuje a během periody s nízkou hodnotou dostatečně netaví PM. Pulzací se snižuje tepelně ovlivněná oblast základního materiálu, a to vede ke snížení tepelných deformací základního materiálu v oblasti návaru. Při rozdílných frekvencích pulzace nebyly zjištěny výrazné rozdíly maximálních teplot.

Při zjišťování účinnosti navařování v závislosti na podávání se účinnost výrazně nemění. Na tento problém by bylo vhodné dále provádět výzkum s vyšším podáváním prášku a zjištění množství prášku, při kterém účinnost navařování začne klesat a prášek se bude sypat do okolí.

Dále bylo zjištěno, že se zvyšujícím podáváním klesá teplota měřená na opačné straně navařované podložky a také klesá zředění až ke kritickým hodnotám kdy nedochází ke spojení PM a ZM. Toto zjištění odpovídá publikaci. [47]

## Citovaná literatura

- [1] LANCASTER, J. F. Handbook of structural welding: Processes, materials and methods used in the welding of major structures, pipelines and process plant. Cambridge: Abington, 1992. ISBN 1855730294.
- [2] PROCHÁZKA, Jiří, Miroslav ZAPOTIL, Milan NĚMEC a Jiljí NOVOTNÝ. *Technologie slévání, tváření a svařování*. První. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1982, 343 s.
- [3] BAJDA, Miroslav. Navařování kovů. *Svět Svaru*. 2005, **9**(2), 4-5.
- [4] GENG, Hwaiyu. Manufacturing engineering handbook [online]. New York: McGraw-Hill, 2004 [cit. 2017-03-06]. ISBN 978-007-1398-251. Dostupné z: <http://accessengineeringlibrary.com/browse/manufacturing-engineering-handbook#fullDetails>
- [5] Svařování plamenem. Vlasac [online]. b.r. [cit. 2017-07-29]. Dostupné z: [http://vlasac.wz.cz/svarovani\\_plamenem.htm](http://vlasac.wz.cz/svarovani_plamenem.htm)
- [6] JEFFUS, Larry. Welding and metal fabrication. Clifton Park, NY: Delmar, 2012, 800 s. ISBN 978-141-8013-745.
- [7] MMA (Manual Metal Arc Welding). *Automig: internetový magazín* [online]. b.r. [cit. 2017-07-29].
- [8] The manual metal arc process (MMA Welding). TWI Group websites [online]. b.r. [cit. 2017-08-01]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/the-manual-metal-arc-process-mma-welding-002/>
- [9] Obloukové svařování obalenou elektrodou, svařování MMA, svařovací technika, svařovací invertor. Schinkmann [online]. b.r. [cit. 2017-07-29]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>
- [10] KOBE STEEL, LTD, . Essential Factors in Gas Shielded Metal Arc Welding. KOBE STEEL,LTD [online]. Kita-Shinagawa, Shinagawa-Ku, Tokyo, 2005 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: [http://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015\\_KOBELCO\\_GMAW.pdf](http://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015_KOBELCO_GMAW.pdf)

- [11] MIG/MAG Welding - GMAW Process. In: CS VIP questions [online]. b.r. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://cswipquestions.blogspot.cz/2014/07/migmag-welding-gmaw-process.html>
- [12] EDITED BY KLAS WEMAN AND GUNNAR LINDÉN, . MIG welding guide. Boca Raton, Fla [u.a.]: CRC Press [u.a.], 2006. ISBN 08-493-9112-1.
- [13] MIG/MAG (CO2). *Automig: Internetový magazín* [online]. b.r. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [14] DEGARMO, E. Paul, J. Temple. BLACK a Ronald A. KOHSER. Materials and processes in manufacturing. 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997. ISBN 00-232-8621-0.
- [15] SMITH, Brian D. WELDING Practice. 1. New York: Taylor and Francis, 1996, 124 s. ISBN 978-1-138-14457-6.
- [16] Gas tungsten arc welding. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_tungsten\\_arc\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_tungsten_arc_welding)
- [17] TIG svařování I - základní principy. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2009 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
- [18] KOU, Sindo. Welding metallurgy [online]. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2003 [cit. 2017-03-17]. ISBN 04-714-3491-4. Dostupné z: [http://users.encs.concordia.ca/~tmg/images/9/99/Sindo\\_Kou\\_-\\_Welding\\_Metallurgy.pdf](http://users.encs.concordia.ca/~tmg/images/9/99/Sindo_Kou_-_Welding_Metallurgy.pdf)
- [19] P. T. HOULDCROFT., . Submerged-arc welding. 2nd ed. Cambridge, Angleterre: Abington Pub, 1989. ISBN 978-185-5730-021.
- [20] Svařování pod tavidlem. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-07-31]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD\\_pod\\_tavidlem](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_pod_tavidlem)
- [21] Obloukové svařování pod tavidlem. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. b.r. [cit. 2017-07-29]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/obloukove-svarovani-pod-tavidlem>

- [22] PASSANDIDEH-FARD, Mohammad, Javad ESMAEELPANAH a Kamyar NAJMI. Simulation of Laser Cladding Process Using Enthalpy Model Integrated into VOF Method. 17th Annual Conference on Mechanical Engineering [online]. University of Tehran, 2009, , 1-6 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://pooya.um.ac.ir/ResearchDocuments/papers/1015581.pdf>
- [23] DAVIS, J. R. Surface hardening of steels: understanding the basics. Materials Park, OH: ASM International, 2002, 237-273 s. ISBN 08-717-0764-0.
- [24] LI, Lin. The advances and characteristics of high-power diode laser materials processing. Optics and Laser in Engineering [online]. 2000, (34), 231-253 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014381660000066X>
- [25] GOSWAMI, Gyanottam Lal, Santosh KUMAR, Rolf GALUN a B. L. MORDIKE. LASER CLADDING OF NICKEL BASED HARDFACING MATERIALS AS AN ALTERNATIVE OF STELLITE. BARC Newsletter [online]. b.r., (249), 64-70 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <http://barc.gov.in/publications/nl/2004/200410-10.pdf>
- [26] TOYSERKANI, Ehsan., Amir. KHAJEPOUR a Stephen. CORBIN. Laser cladding. Boca Raton, Fl.: CRC Press, 2005. ISBN 08-493-2172-7.
- [27] KHAJEPOUR, Amir. Laser additive manufacturing [online]. In: . University of Waterloo, b.r. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://uwaterloo.ca/mechatronic-vehicle-systems-lab/research/laser-additive-manufacturing>
- [28] Trendy vývoje svařování plazmou. SCHLIXBIER, Michal. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. b.r. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/trendy-vyvoje-svarovani-plazmou/>
- [29] WILDER, J., J.P. BERGMANN, H. FRANK, S. PINZ a F. SCHREIBER. Thin Plasma-Transferred-Arc Welding Coatings - an Alternative to Thermally Sprayed Coatings?. Thermal Spray 2004: Advances In Technology and Application, Proceedings of the International Thermal Spray Conference. Materials Park: A S M International, 2004. ISBN 9781615031016.
- [30] VERGARA, Victor, Jair CARLOS a Ana Sofia CLIMACO DOLIVEIR. Hardfacing by Plasma Transferred Arc Process. Arc Welding [online]. InTech, 2011, (), [cit. 2017-03-13]. DOI: 10.5772/28802. ISBN 978-953-307-642-3. Dostupné z:

<http://www.intechopen.com/books/arc-welding/hardfacing-by-plasma-transferred-arc-process>

- [31] ROHAN, Pavel, Tomáš KRAMÁR a Tomáš PANÁČEK. Diagnostika plazmového navařovacího procesu. *KONSTRUKCE odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2015, (), [cit. 2017-03-13]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/diagnostika-plazmoveho-navarovacihoprocesu/>
- [32] ROHAN, Pavel, Ladislav KOLAŘÍK, Tomáš KRAMÁR a Zdeněk KRŠKA. Navařování plazmatem - ochranné povlaky ve výrobě i výzkumu. *MM: Průmyslové spektrum* [online]. 2015, (1), 86 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/navarovani-plazmatem-ochranne-povlaky-ve-vyrobe-i-vyzkumu.html>
- [33] SUDHA, C., R.V. SUBBA RAO, P. SHANKAR, R. THURUMURUGENSAN, M. VIJAYALAKSHMI a Raj BALDEV. Microchemical and microstructural studies in a PTA weld overlay of Ni–Cr–Si–B alloy on AISI 304L stainless steel. *Surface & Coatings Technology* [online]. 2008, (10), 2103–2112 [cit. 2017-05-01]. ISSN 0257-8972. Dostupné z: [http://ac.els-cdn.com/S0257897207009632/1-s2.0-S0257897207009632-main.pdf?\\_tid=be87900e-30a7-11e7-97f7-00000aacb362&acdnat=1493888447\\_4c97f5a47dfee0822c9e9daaf001ff4b](http://ac.els-cdn.com/S0257897207009632/1-s2.0-S0257897207009632-main.pdf?_tid=be87900e-30a7-11e7-97f7-00000aacb362&acdnat=1493888447_4c97f5a47dfee0822c9e9daaf001ff4b)
- [34] Plasma Transferred Arc(PTA) Machines. *Arcraft Plasma Equipments* [online]. b.r. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.arcraftplasma.com/welding/pta.htm>
- [35] BREZINOVÁ, Janette, Dagmar DRAGANOVSKÁ, Anna GUZANOVÁ, Peter BALOG a Ján VIŇÁŠ. Influence of the Hardfacing Welds Structure on Their Wear Resistance. *Metals*. 2016, 6(2), 36-. DOI: 10.3390/met6020036. ISSN 2075-4701. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2075-4701/6/2/36>
- [36] BANERJEE, Prasejit. Stellite. *Chemistry Learner: It's all about Chemistry* [online]. b.r., 2011 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://www.chemistrylearner.com/stellite.html>
- [37] GILBERT, Nick. AZO Materials [online]. b.r. [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9857>
- [38] Stellite. *Chemistry Learner* [online]. b.r. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.chemistrylearner.com/stellite.html>

- [39] DELORO STELLITE. STELLITE® 6 ALLOY: Technical data. In: DELORO STELLITE. EXOCOR [online]. b.r. [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://exocor.com/downloads/product-datasheets/Stellite-6-Datasheet.pdf>
- [40] SWIFT-HOOK, D. T. a A. E. F. GICK. Penetration Welding with Lasers: Analytical study indicates that present laser beam welding capabilities may be extended tenfold. *Welding Journal* [online]. 1973, (52), 492-499 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: [https://app.aws.org/wj/supplement/WJ\\_1973\\_11\\_s492.pdf](https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_1973_11_s492.pdf)
- [41] DUPONT, J. N. a R. MARDER. Thermal Efficiency of Arc Welding Processes. *Welding Journal* [online]. 1991, (70), 287-297 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: [http://www.lehigh.edu/matsci/faculty/dupont/docs/Thermal\\_Efficiency\\_of\\_Arc\\_Welding\\_Processes.pdf](http://www.lehigh.edu/matsci/faculty/dupont/docs/Thermal_Efficiency_of_Arc_Welding_Processes.pdf)
- [42] FUERSCHBACH, P. W. a G. A. KNOROVSKY. A Study of Melting Efficiency in Plasma Arc and Gas Tungsten Arc Welding. *Welding Journal* [online]. 1991, **70**, 287-297 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: [https://app.aws.org/wj/supplement/WJ\\_1991\\_11\\_s287.pdf](https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_1991_11_s287.pdf)
- [43] BALAMURUGAN, S a N MURUGAN. Simulation of Plasma Transferred ARC (PTA) Hardfaced on Structural Steel with Titanium Carbide. *Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS)* [online]. 2013, **4**(2), 10-14 [cit. 2017-07-18]. ISSN 2319-5606. Dostupné z: <http://borjournals.com/a/index.php/jecas/article/view/47/pdf>
- [44] SENTHIIL, PV a Aakash SHIRRUSHTI. Finite Element Simulation of Plasma Transferred ARC Welding [PTAW] of Structural Steel. *PV Senthil Int. Journal of Engineering Research and Applications* [online]. 2014, **10**(4), 6-11 [cit. 2017-07-18]. ISSN 2248-9622. Dostupné z: [http://www.ijera.com/papers/Vol4\\_issue10/Part%20-%204/B410040611.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue10/Part%20-%204/B410040611.pdf)
- [45] MEASUREMENT OF WELDING DILUTION FROM IMAGES USING ACTIVE CONTOURS. 2nd South-East European Conference on Computational Mechanics [online]. 2009, , 1-7 [cit. 2017-07-12]. Dostupné z: [https://pdfs.semanticscholar.org/4fb2/0acc669e462aa733e6c77d04816becba6be3.pdf?\\_ga=2.182756517.2040773783.1499878161-1927509144.1499878161](https://pdfs.semanticscholar.org/4fb2/0acc669e462aa733e6c77d04816becba6be3.pdf?_ga=2.182756517.2040773783.1499878161-1927509144.1499878161)

- [46] KERÄNEN, Marko. Effect of welding parameters of plasma transferred arc welding method on abrasive wear resistance of 12V tool steel deposit [online]. Espoo, 2010 [cit. 2017-07-12]. ISBN 978-952-60-3110-1. Dostupné z: <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789526031101/isbn9789526031101.pdf>. Aalto University.
- [47] D'OLIVEIRA, A.S.C.M., R.S.C. PAREDES a R.L.C. SANTOS. Pulsed current plasma transferred arc hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2006, (171), 167-174 [cit. 2017-07-17]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/234216015\\_Pulsed\\_current\\_plasma\\_transferred\\_arc\\_hardfacing](https://www.researchgate.net/publication/234216015_Pulsed_current_plasma_transferred_arc_hardfacing)
- [48] Metal powder and continuous cast rods. Krefeld: Deutsche Edelstahlwerke, b.r. Dostupné také z: [https://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/051\\_DEW\\_Metallpulver\\_GB.pdf](https://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Broschueren/051_DEW_Metallpulver_GB.pdf)
- [49] PLAZMOVÉ NAVAŘOVACÍ AUTOMATY. In: *KSK Česká Třebová* [online]. b.r. [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <http://www.kskct.cz/cs/plazmove-automaty/>