



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NAVAŘOVÁNÍ STELLITEM NA OCEL 1.4122

STELLITE CLADDING ON STEEL 1.4122

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Daumer

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2016

# Zadání diplomové práce

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| Ústav:            | Ústav strojírenské technologie |
| Student:          | <b>Bc. Tomáš Daumer</b>        |
| Studijní program: | Strojní inženýrství            |
| Studijní obor:    | Strojírenská technologie       |
| Vedoucí práce:    | <b>Ing. Jaroslav Kubíček</b>   |
| Akademický rok:   | 2015/16                        |

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 diplomové práce:

## **Navařování Stellite na ocel 1.4122**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Oblast renovací martenzitických korozuvzdorných ocelí je náročná na zpracování postupu navařování, návrh optimálních přídavných materiálů i vlastního procesu a technologie navařování. Práce řeší optimalizaci parametrů navařování kobaltových slitin typu Stellite na konkrétní nástrojovou ocel typu 1.4122.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Provést studii svařitelnosti martenzitických ocelí a příslušných metod svařování.
2. Vypracovat návrh přídavného materiálu a podmínek navařování martenzitických ocelí typu 1.4122.
3. Provést zkušební návary s ohledem na získání optimálních vlastností.
4. Vyhodnotit zředění, vlastnosti a defekty návarů.

### **Seznam literatury:**

Ondrejček, P. (2003): Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava.

Pilous, V. (2009): Materiály a jejich chování při svařování. Škola-welding s.r.o. Plzeň.

Kolektiv autorů. (2011): Materiály a jejich svařitelnost. Škola-welding s.r.o. Plzeň..

Kolektiv autorů. (2011): Technologie svařování a zařízení. Škola-welding s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení. Škola-welding s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Škola-welding s.r.o. Plzeň

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

DAUMER Tomáš: : Navařování Stellite na ocel 1.4122.

---

Diplomová práce se zabývá problematikou svařování korozivzdorných ocelí. Provádí analýzu současného stavu korozivzdorných ocelí z hlediska svařování, chemického složení, fyzikálních a mechanických vlastností. Experiment je založen na navařování slitin Stellite na martenzitickou korozivzdornou ocel X39CrMo17-1. V praktické části jsou popsána použitá zařízení a provedena vyhodnocení specifického vneseného tepla, makrostruktury a tvrdosti.

Klíčová slova: X39CrMo17-1, korozivzdorná ocel, slitiny Stellite, tvrdost, svařování

## **ABSTRACT**

DAUMER Tomáš: Stellite cladding on steel 1.4122.

---

Master's thesis describes issues of stainless steel welding. The analysis carries out the stainless steel's state of art in term of welding, chemical composition, physical and mechanical properties. Experiment is based on cladding of Stellite alloys to martensitic stainless steel X39CrMo17-1. The practical part describes the used devices and carries out evaluation of specifically designed heat input, macrostructure and hardness.

Keywords: X39CrMo17-1, stainless steel, Stellite alloys, hardness, welding

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DAUMER, Tomáš. *Navarování Stellite na ocel 1.4122*. Brno, 2016. 52s, 4 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor strojírenská technologie, Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 26.5.2016

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat svým rodičům, rodinným příslušníkům a přátelům, kteří mě podporovali během studia.

## OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

|   |    |
|---|----|
| ÚVOD .....  | 9  |
| 1 ROZBOR ZADÁNÍ .....   | 10 |
| 2 KOROZIVZDORNÉ OCELI .....   | 11 |
| 2.1 Základní princip korozní odolnosti a druhy koroze .....               | 11 |
| 2.1.1 Pasivita .....  | 12 |
| 2.1.2 Chemická koroze .....   | 13 |
| 2.1.3 Elektrochemická koroze .....  | 14 |
| 2.1.4 Průběh a druhy korozního napadení .....                             | 15 |
| 2.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí .....                                 | 17 |
| 2.3 Martenzitické korozivzdorné oceli .....                               | 19 |
| 2.3.1 Tepelné zpracování .....  | 20 |
| 2.3.2 Svařitelnost martenzitických ocelí .....                            | 21 |
| 2.4 Metody svařování korozivzdorných ocelí .....                          | 24 |
| 2.4.1 Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu .....   | 24 |
| Tab. 5 Výhody obloukového svařování TIG. ....                             | 25 |
| 2.4.2 Plazmové obloukové svařování .....                                  | 25 |
| 2.4.3 Svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu ..... | 26 |
| 2.4.4 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou .....                 | 28 |
| 2.4.5 Svařování pod tavidlem .....  | 29 |
| 2.4.6 Odporové bodové svařování .....                                     | 30 |
| 2.4.7 Švové odporové svařování .....                                      | 31 |
| 2.4.8 Laserové svařování .....  | 32 |
| 2.4.9 Svařování elektronovým paprskem .....                               | 33 |
| 3 EXPERIMENTÁLNÍ NAVAŘOVÁNÍ STELLITEM NA OCEL 1.4122 .....                | 34 |
| 3.1 Základní materiál .....   | 34 |
| 3.2 Volba přídavného materiálu .....                                      | 35 |
| 3.2 Experiment .....  | 37 |
| 3.3 Vyhodnocení experimentu .....   | 51 |
| 4 ZÁVĚRY .....  | 52 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

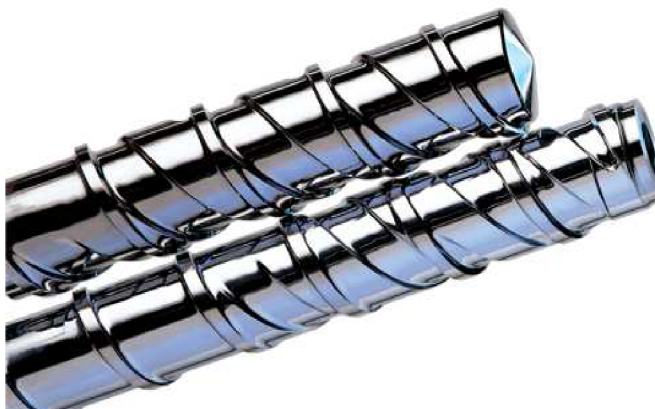
Seznam příloh



## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Korozivzdorné ocele mají stále více uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích, díky svým vlastnostem, jako odolnost proti korozi a otěru, houževnatosti, leštitelnosti, odolnost proti vzniku trhlin.

Jejich využití je především v potravinářském, zdravotnickém a strojírenském průmyslu. Používají se pro výrobu potrubí, kuličkových ložisek, vstřikovacích trysek, ventilů, výrobků pro medicínu, v potravinářském, chemickém a plastikářském průmyslu. Příklady využití jsou uvedeny na obr. 1.



Navzdory všem těmto vlastnostem korozivzdorných ocelí se snaží výrobci zlepšovat vlastnosti základních materiálů navařováním přídavného materiálu. To se provádí za účelem zvýšení požadavků povrchu, mechanických vlastností, především strojních součástí, např. pro zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení, jako jsou abraze, eroze, adheze, kavitace a únavové opotřebení. Výrobci tak nemusí vyrábět celé součásti z kvalitnějšího materiálu, aby dosáhli lepších fyzikálních a mechanických vlastností. Přídavný materiál se použije pouze na části, které jsou nejvíc namáhané. V současnosti je z dlouhodobého ekonomického hlediska výroby velice důležité snižovat výrobní náklady, ovšem ne na úkor kvality a vlastností dané součásti.

Obr. 1 Využití v praxi [2], [3], [4]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [5]

Řešenou problematikou dané práce je navařování tří druhů slitin na bázi kobaltu typu Stellite, skládající se z komplexních karbidů na martenzitickou korozivzdorní ocel 1.4122 na obr. 2. Volba konkrétního přídavného materiálu bude rozebírána v následujících kapitolách. Před samotným prováděním zkušebních návarů je důležité zaměřit se na vhodnou volbu podmínek navařování korozivzdorných martenzitických ocelí. Martenzitické chromové oceli obsahují 11,5 a 18 hm % Cr. Svařují se v tvrdém, žíhaném, popuštěném a zušlechtěném stavu.



Obr. 2 Mikrostruktura ocele 1.4122 [5]

Martenzitické oceli s nízkým obsahem uhlíku jsou ke svařování vhodné jen podmíněně. Základním problémem u těchto ocelí je jejich prokalitelnost a vysoká náchylnost na tvorbu studených trhlin. Proto musíme zásadně při svařování používat předehřev materiálu.

Pro lepší vyhodnocení a porovnání provedených zkušebních návarů s ohledem na získání optimálních vlastností, se na daný materiál navařují tři druhy kobaltové slitiny typu Stellite při různých teplotách předehřevu. Pro experiment byli vytvořeny tři vzorky z válcované tyče průměru 65 mm a nařezány na délku 260 mm. U řešené oceli 1.4122 se dle doporučení by se měly volit teploty předehřevu od 300 °C do 400 °C. U daného experimentu byly zvoleny teploty předehřevu 180 °C, 250 °C a 300 °C. Každý přídavný materiál má různé hodnoty výsledné tvrdosti, které jsou dosaženy v závislosti od zvolených parametrů svařování. Nejlepší vlastnosti svarového spoje by měly být dosaženy při dobře zvoleném svařovacím proudě, rychlosti svařování a ochranném plynu. Všechny tyto parametry nám ovlivňují zásadně výsledný svarový spoj.

U zkušebních návarů kobaltové slitiny na danou martenzitickou korozivzdorní ocel se pak vyhodnocují dosažené vlastnosti a popřípadě defekty v návaru.

Při svařování korozivzdorných martenzitických ocelí můžeme použít běžné technologie svařování. U experimentu budeme svařovat metodou tavící se elektrody v aktivním plynu, která je známé pod názvem MAG.

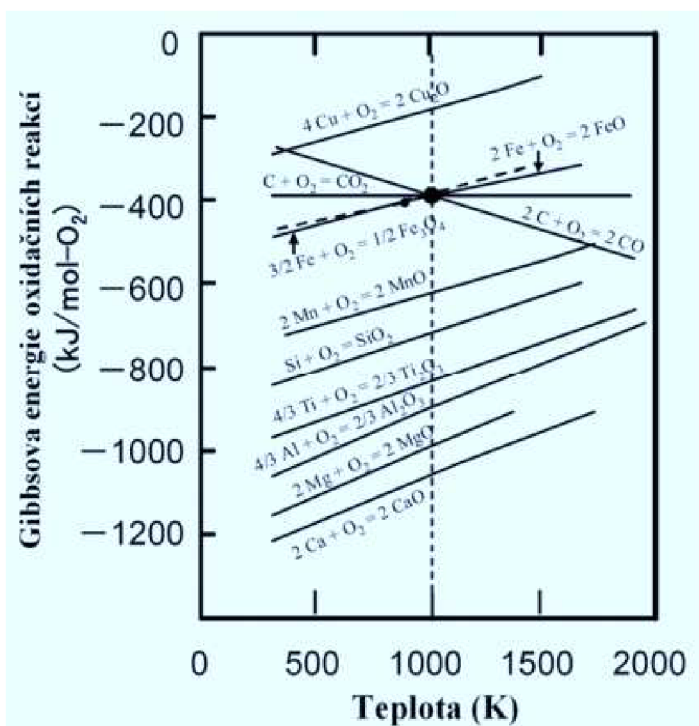
## 2 KOROZIVZDORNÉ OCELI [1], [5]

Výzkum a rozvoj korozivzdorných ocelí se začal počátkem 20. století. O první popis vlastností a použití slitin železa a chromu se postaral ve své práci v roce 1911 Philip Monnartza. V roce 1912 se vědci Harrymu Brearley, vůbec jako prvním podařilo vynalézt a zavést do praxe martenzitickou ocel, kterou použil na výrobu příborů.

V dnešní době je již skupina korozivzdorných materiálů neustále rozšiřována a doplňována dle požadavků s ohledem na prostředí, ve kterém bude ocel použita. Oceli se vyznačují především zvýšenou odolností vůči korozi za normální nebo zvýšené teploty. Samozřejmě i zde probíhá koroze, ovšem ve velmi pomalém času. Vlastnosti jednotlivých ocelí se uvádí v materiálových listech.

### 2.1 Základní princip korozní odolnosti a druhy koroze [1], [6], [7]

Úplné nebo částečné rozrušení materiálu je často způsobeno korozi daného kovu. Samovolný průběh tohoto procesu je způsobený chemickým nebo fyzikálně-chemickým dějem. Většina kovů je termodynamicky nestála a samovolně přechází do oxidovaného stavu.



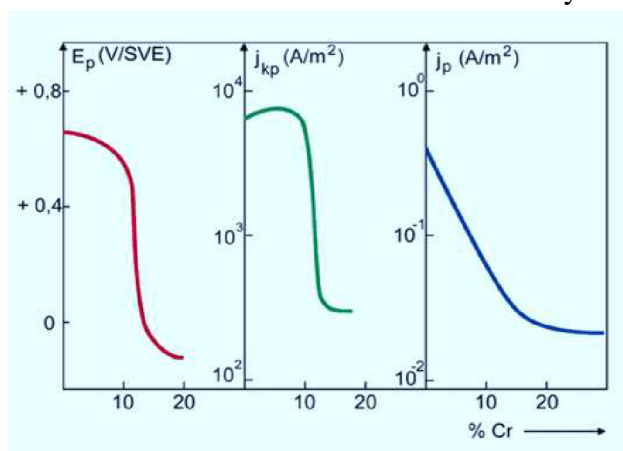
Obr. 3 Ellinghamův diagram (závislost Gibbsovy energie oxidační reakce na teplotě) [7]

můžeme vyčíst různé průběhu reakcí pro korozi. Obecně však tyto diagramy slouží pro rychlou orientaci v termodynamice sledovaných reakcí a poskytují prvotní údaj o pravděpodobnosti koroze.

K popisu korozních jevů nám obecně slouží termodynamika, která využívá změny volné entalpie soustavy  $\Delta G$ . Změnu volné entalpie představuje veškerou energii, kterou sloučenina odevzdá okolí nebo ji přijme. Lze ji definovat jako rozdíl chemických potenciálů konečných a výchozích látek. Množství sloučeniny, kterou odevzdá nebo přijme je rovná 1 molu. Za podmínky konstantního tlaku a teploty lze změnu volné entalpie definovat vztahem ( $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ ), kde  $\Delta H$  je změna entalpie,  $\Delta S$  je změna entropie a  $T$  je termodynamická teplota. Změna volné entalpie závisí na teplotě. Pro lepší přehled v této problematice nám slouží například Ellinghamův diagram pro oxidy na obr. 3, který ukazuje standartní slučovací Gibbsovu energii, která je rovna hybné síle při vzniku koroze. Z daného diagramu

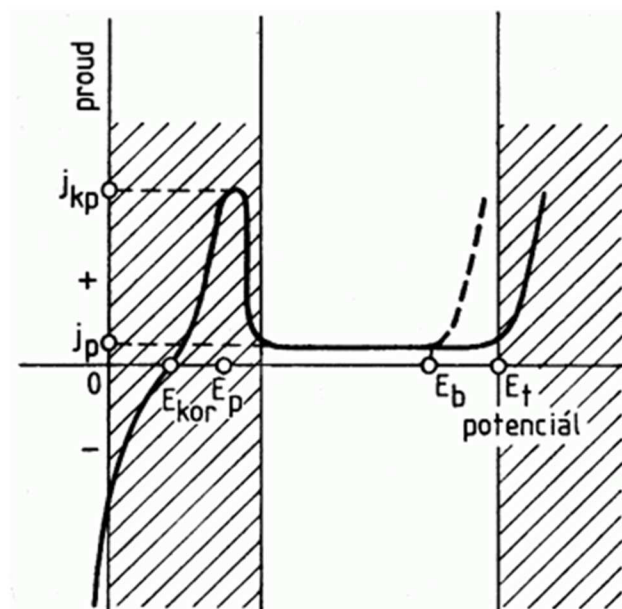
### 2.1.1 Pasivita [1], [6], [8]

Pasivitu lze definovat jako stav, kdy kov má velkou chemickou odolnost za určitých podmínek. Pod podmínkami rozumíme celou řadu souboru jako stav, koncentrace prostředí, teplota a tlak. Za daných podmínek přechází kov nebo litina do pasivního stavu. Nejdůležitějším prvkem, který umožňuje pasivaci u vysokolegovaných nerezavějících ocelí, je chrom. Pasivace nastává za podmínky, že v tuhém roztoku se nachází minimálně 12% chromu, přičemž je velice důležitý obsah uhlíku, který tvoří s chromem karbidy. Na obr. 4 je znázorněn vliv přídavku chromu do slitiny se železem na pasivační potenciál ( $E_p$ ) a pasivační ( $j_{kp}$ ) a pasivní ( $j_p$ ) proudovou hustotu ve zředěné kyselině sírové. Pro nerezavějící oceli je tedy všeobecně charakteristický nízký obsah uhlíku. Vyskytuje se však řada teorií, které tenhle stav popisují blíže. Mezi dvě nejčastěji používané patří teorie absorpční a teorie ochranné vrstvy. Absorpční teorie vysvětluje absorpci zejména kyslíku, který vytváří s atomy povrchu kovu chemické vazby, přičemž atomy neopouštějí svou kovovou mřížku.



Obr. 4 Vliv přídavku chromu na pasivitu [8]

Teorie ochranné vrstvy patří mezi nejrozšířenější, a podle ní je kov nebo slitina v pasivním stavu pokrytá velmi tenkou vrstvou povlaku oxidu. To, že vůbec dochází ke korozi, a to i při dokonalém pokrytí kovu oxidační vrstvou, lze vysvětlit vznikem kysličnickové vrstvy, která se do jisté míry rozpouští, a je neustále obnovována. U korozivzdorných ocelí je dynamická rovnováha mezi rozpouštěním a obnovováním vrstvy vyjádřená rychlosti koroze v pasivním stavu, která nepřevyšuje několik setin mm/rok.

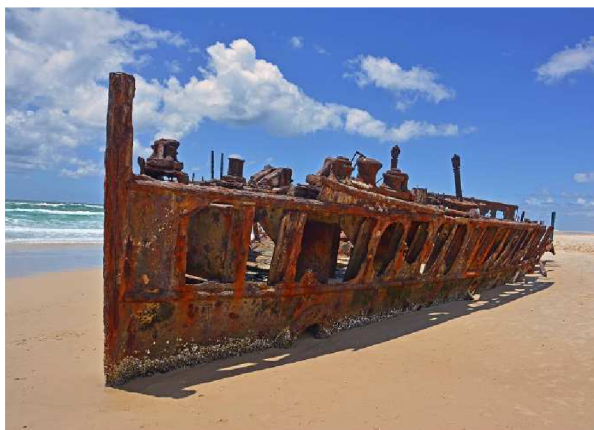


Obr. 5 Polarizační křivka  $E_p$  (pasivační potenciál),  $E_{kor}$  (korozní potenciál,  $E_b$  (průrazový potenciál),  $E_t$  (transpasivní potenciál),  $j_{kp}$  (kritická pasivační proudová hustota),  $j_p$  (pasivní proudová hustota) [8]

U přechodu kovu do pasivního stavu sehrává důležitou roli pasivační potenciál. Na obr. 5 je zobrazen průběh potenciostatické křivky anodického děje při přechodu kovu z oblasti aktivního do oblasti pasivního stavu. Na základě analýzy křivek a charakteru prostředí lze stanovit, zda se ocel dokáže pasivovat samovolně nebo vyžaduje vnější zásah. Stav je tedy omezen v určité oblasti potenciálů  $E$ , závislé na vlastnosti oceli a prostředí. Kritická pasivační proudová hustota  $j_{kp}$  je důležitou veličinou, která charakterizuje schopnost oceli přecházet do pasivního stavu. Jeden z hlavních bodů, při určování podmínek vedoucích k pasivitě, je především určení  $j_{kp}$ .

### 2.1.2 Chemická koroze [1], [3], [9], [10]

Vlivem chemického působení vnějšího prostředí, nebo za zvýšené teploty a tlaku na kovový materiál dochází k porušení materiálu. Na obr. 6 je uveden příklad působení prostředí na kovový materiál. Korozním prostředím rozumíme soli, kapaliny a plyny. Typickým příkladem chemické koroze je oxidace, když se na povrchu kovu objeví vrstva oxidů. Děje probíhají při vzájemném působení povrchu s oxidačně (kyslík, vzduch, oxid uhličitý, oxid sírový, oxid siřičitý, halogeny apod.) či redukčně účinkujícími plyny (vodík, metan, amoniak a směsi na bázi vodíku). Oxidační plyny vytváří na kovovém povrchu vrstvu korozních zplodin, které jsou



Obr. 6 Dlouhodobé působení koroze [9]

převážně tvořené iontovými sloučeninami. Při ději oxidace ztrácí reagující látka (prvek - Me) své valenční elektrony. Redukční plyny reagují s povrchem, popřípadě pronikají do kovů a rozpouští se v nich za současného vzniku kovalentních sloučenin. Redukci chápeme děj, při kterém látka (Me) přijímá cizí valenční elektrony.

Schéma děje:

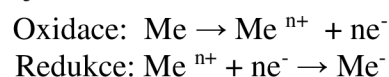
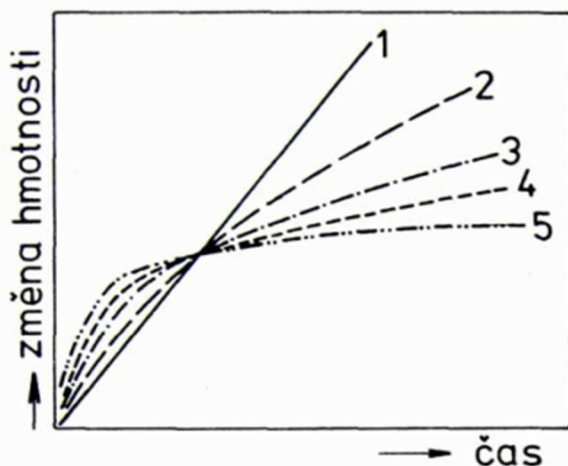


Schéma děje:

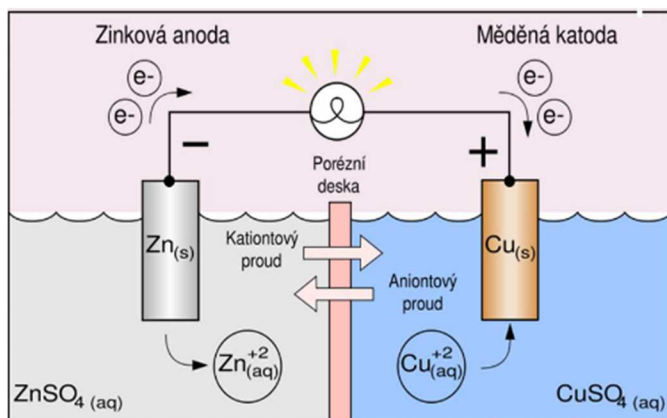
Chemická koroze někdy probíhá stále stejnou rychlostí. Je tomu především tehdy, když produkty koroze mají menší objem, než měl materiál, ze kterého vznikly. Vznikající vrstva je pak pórovitá nebo s četnými trhlinami a tím pádem nepřekáží částicím z okolního prostředí pronikat k povrchu kovu. Rychlost koroze tedy zůstává stálá a podmínky koroze s časem se nemění. Tloušťka vrstvy koroze tak s časem roste lineárně. Na obr. 7 jsou znázorněny obecné tvary křivek časové závislosti korozní rychlosti při oxidaci kovů. Při přechodu mezi korozí za vysokých a nízkých teplot je možno zjistit kubickou závislost rychlosti na čase. Za podmínek relativně nízkých teplot a za vzniku velmi tenkých vrstev lze zjistit i další typy závislosti, jako například logaritmická nebo recipročně logaritmická. Některé kovy jako železo, nikl nebo měď, se chovají lepe na vzduchu, protože se na nich vytváří vrstva schopná zpomalit další koroze. Čím je vrstva oxidu tlustší tím se zpomaluje její zvětšení i průběh koroze až do momentu dokud se vrstva neodloupne. Ovšem na hliníku i chromu vzniká oxidační vrstva velmi rychle a neobyčejně pevně přilehá ke kovovému podkladu. Je téměř nepropustná a tak účinně brání dalšímu rychlému průběhu koroze. Dále její tloušťka roste již pomalu. V téhle vlastnosti vyniká chrom, který dokáže svou vlastnost přenášet na ocel, a proto je základní slitinovou přísadou u korozivzdorných ocelí.



Obr. 7 Obecný tvar křivek časové závislosti korozní rychlosti při oxidaci kovů 1 - lineární; 2 - parabolická; 3 - kubická; 4 - logaritmická; 5 — recipročně logaritmická [10]

### 2.1.3 Elektrochemická koroze [1], [8], [11]

K elektrochemické korozi dochází při styku materiálu s elektrolytem, tj. roztoky kyselin, zásad a solí v elektrickém vodivém prostředí za vniku galvanického článku. Galvanický článek na obr. 8 se skládá z elektrod vodivě spojené a ponořené v elektrolytu. Na elektrodách probíhají současně dvě na sobě nezávislé reakce: anodová a katodová. Anodová a katodová



Obr. 8 Schematické zobrazení galvanického článku Cu-Zn [12]

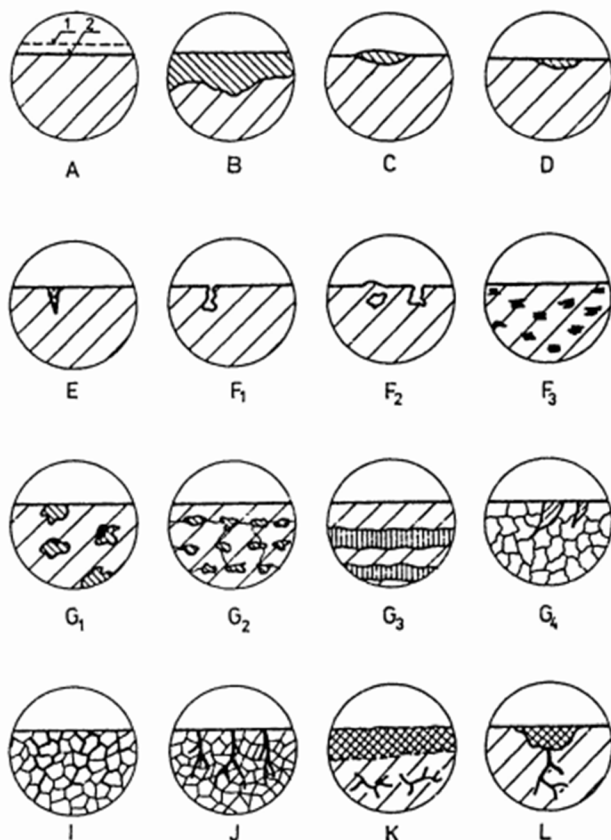
Tab. 1 Elektrochemické potenciály kovů [1].

| Kov | Standartní potenciál [V] | Korozní potenciál [V] |
|-----|--------------------------|-----------------------|
| Mg  | -2,370                   | -0,401                |
| Al  | -1,660                   | -0,571                |
| Ti  | -1,630                   | 0,181                 |
| Zn  | -0,763                   | -0,782                |
| Cr  | -0,740                   | -0,109                |
| Fe  | -0,440                   | -0,300                |
| Cd  | -0,403                   | -0,531                |
| Ni  | -0,250                   | -0,007                |
| Sn  | -0,136                   | -0,205                |
| Pb  | -0,126                   | -0,312                |
| H   | 0,000                    | -                     |
| Cu  | 0,337                    | 0,058                 |
| Ag  | 0,800                    | -                     |
| Au  | 1,360                    | -                     |

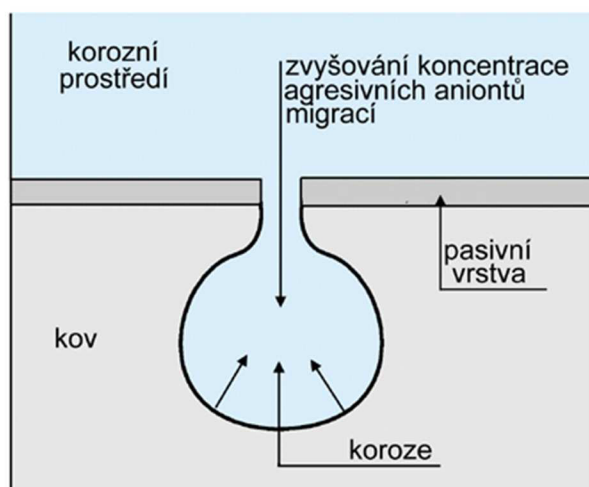
reakce tedy dohromady odpovídá koroznímu ději, ovšem nemusí probíhat na stejném místě na povrchu. Na stejném místě bude probíhat tehdy, je-li kov homogenní a i složení roztoku je stejné po celé ploše dotyku s daným kovem. Platí, že jestli je anodová reakce zdrojem elektronů, musí stejné množství elektronů být spotřebováno u katodové reakce. Rychlost koroze může být řízena anodovou nebo katodovou reakcí nebo oběma zároveň. Reakce probíhají od sebe odděleně, protože to zapříčiňují rozdíly ve složení povrchu a zároveň pro tento oddělený průběh platí, že je elektricky vodivé spojení v kapalně nebo kovové fázi. Při spojení dvou různě ušlechtilých kovů v korozním prostředí vzniká makročlánek, nebo může taky vzniknout korozní článek v mikrostruktuře, pak se jedná o mikročlánek. Rovnováze mezi dílčími reakcemi odpovídá určitý rovnovážný potenciál  $E_r$  a standartní potenciál  $E_o$ , který charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovu. Pod pojmem elektrochemická ušlechtilost rozumíme snahu přejít do iontového (oxidovaného) stavu a uvolňovat elektrony.

Ovšem pro praxi se veličina standartní potenciál nehodí, a proto se pokusně určuje veličina nazvaná potenciál kovového materiálu ve zkušební roztoku, který je vhodnější pro posouzení korozní odolnosti materiálu v daném korozním prostředí. Daný roztok odpovídá nebo se přibližuje skutečnosti. Třetí sloupec v tab. 1 uvádí korozní potenciál kovu v provzdušněném roztoku chloridu sodného 0,5N – NaCl.

## 2.1.4 Průběh a druhy korozního napadení [1], [8], [10], [13], [14], [15], [17]



Obr. 9 Některé druhy korozního napadení A- rovnoměrné napadení B- nerovnoměrné napadení, C- skvrnité napadení, D- důlkové napadení, E- bodové napadení, F- podpovrchové napadení, G- selektivní napadení, I- mezikrystalové napadení, J- transkrystalové napadení, K- extrakční napadení, L- korozní trhliny [8]



Obr. 10 Schematické zobrazení průběhu bodové a důlkové koroze [14]

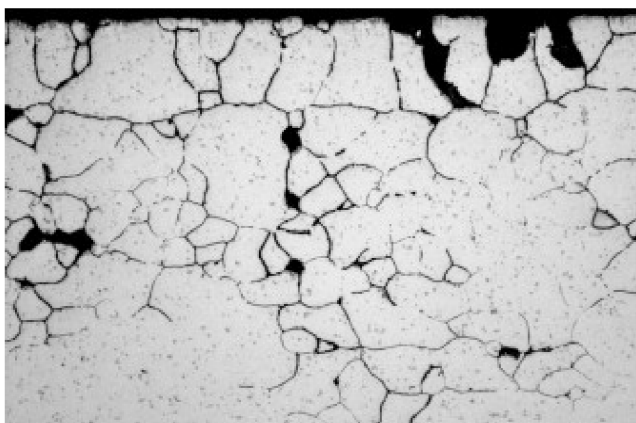
Každý druh koroze má různé formy napadení závislé na různých faktorech, které působí na materiál v určitém prostředí. Koroze může probíhat rovnoměrně po celém povrchu materiálu nebo nerovnoměrně, kdy dochází k pronikání koroze na různých místech materiálu. Koroze rovnoměrná (obr. 9A) způsobuje rovnoměrné úbytky materiálu po celém povrchu, a proto umožňuje předvídat pravděpodobnou životnost zařízení. Korozní rychlost u rovnoměrné koroze je v počátku vyšší jako na konci, a proto se udává její průměr. Nerovnoměrná (obr. 9B) koroze se projevuje napadením materiálu na různých místech různou šíří a hloubkou. Patří k nebezpečnějšímu druhu koroze, z důvodu ovlivnění mechanických vlastností součástí, při minimální změně vzhledu jejího povrchu. Nerovnoměrná koroze má několik specifických forem, které jsou zobrazeny na obr. 9.

Bodová a důlková koroze vzniká korozním napadením menším nebo větším počtem ojedinělých bodů, které v podstatě zvětšují svou hloubku. Mechanismus na obr. 10 spočívá v napadení v místě poruchy pasivní vrstvy, kde vzniká důlek, ve kterém vzrůstá koncentrace agresivních iontů. Je především typická pro nerez oceli a hliníku. Příčinou jsou především roztoky obsahující chlór, brom nebo jod, jejich soli a to zejména halogenidy těžkých kovů nebo chlornany. V aktivních místech může vést až k proděravění poměrně tlustých plechů nebo trubek. Důlkové napadení se od bodového liší především malým poměrem hloubky k šířce důlku.

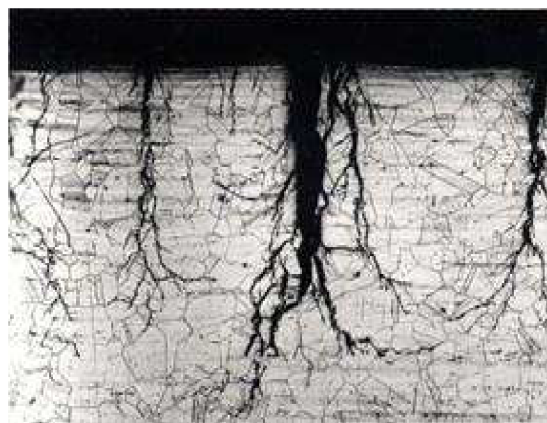
U podpovrchová koroze kovu je porušení vnitřku kovu mnohem rozsáhlejší než porušení na povrchu a vzniká v důsledku difúzi atomárního vodíku, nebo jsou exponovány v kyselých prostředích obsahujících sirovodík.

Štěrbínová koroze do značné míry souvisí s bodovou korozí a objevuje se v jemných kapilárních nebo ve štěrbinách se špatným oběhem korozního prostředí. Různá koncentrace iontů v elektrolyte ve štěrbině a na jeho ústí, vznikají koncentrační články, urychlující korozi v aktivním stavu.

Selektivní napadení se vyskytuje ve slitinách s dvoj a více fázovou strukturou. Ve většině případů se fáze liší chemickým složením od nekorodujících fází. Selektivní koroze se především projevuje u mědi, mosazi, litiny.



Obr. 11 Vzhled mezikrystalové koroze u slitiny hliníka AlMgSi [17]



Obr. 12 Transkrystalické šíření trhlin [16]

Mezikrystalová koroze na obr. 17 vzniká po hranici zrn. Hlavními příčinami napadení jsou rozdíly v chemickém složení hranic zrn v porovnání s jejich objemem. Náchylné jsou na tento typ koroze korozivzdorné austenitické oceli po nevhodném tepelném zpracování. U korozivzdorných ocelí dochází ke korozi především ve svarových spojích a jejich okolí. Mezikrystalové napadení je doprovázené zhoršením mechanických vlastností. Jedná se o napadení, které se vyhodnocuje sice změnou mechanických vlastností, ale napadení je zjištěné nejlépe metalografickým vyhodnocením.

Transkrystalová koroze na obr. 16 se projevuje nerovnoměrnými trhlinami, které se šíří napříč krystaly do hloubky kovového materiálu. Vyskytuje se velmi zřídka, nejčastěji u mosazí v prostředí obsahující čpavek, nebo u austenitických chromniklových ocelí v prostředí chloridu.

Koroze napětí vzniká kombinovaným vlivem napětí a především vnitřních tahových pnutí a agresivního prostředí. Tlakový účinek má za následek praskání, které se projevuje vznikem transkrystalových i mezikrystalových trhlinek, kdy může nastat křehký lom. V čistých kovech se praskání neprojevuje, avšak velmi často se objevuje u slitin měkkých uhlíkových ocelí, austenitických ocelí, hliníkových, měděných a titánových slitin.

Vibrační neboli únavová koroze vzniká na styčných plochách strojních součástí, které jsou cyklicky namáhány v korozním prostředí

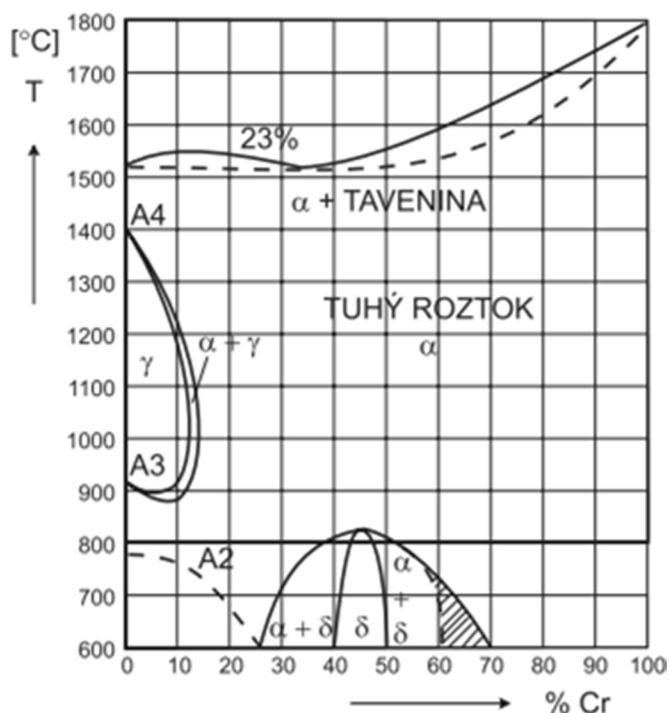
Z hlediska prostředí, ve kterém koroze probíhá, ji dělíme na korozi atmosférickou, korozi ve vodě a půdě.



## 2.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí [1], [18], [19]

Korozivzdorní ocele se nejčastěji rozdělují do několika základních skupin podle jejich dosažené mikrostruktury a obsahu hlavních legur. První skupinu tvoří feritické chromové oceli, druhou významnou skupinou jsou martenzitické chromové oceli, třetí skupinu tvoří austenitické oceli, duplexní ocele se řadí do čtvrté skupiny.

Základní informace o možném složení struktury poskytuje rovnovážný diagram železo chrom na obr. 13. Chrom patří mezi feritotvorný prvek, který stabilizuje fázi  $\alpha$  a zároveň zmenšuje oblast  $\gamma$ . Do obsahu 13 hm. % probíhá změna fáze  $\alpha$ - $\gamma$ - $\alpha$  od vyššího obsahu chromu je oblast feritu a při ohřevu nad 900 °C bude mít tato jednofázová slitina hrubý zrna a začne křehnut. Regenerace v dané oblasti není možná protože, tam nedochází k žádné proměně. Chromové oceli s obsahem chromu nad 5 hm % jsou samokalitelné. Jednou s vlastností chromu je, že výrazně snižuje kritickou rychlost ochlazování a posouvá tzv. C křivky v ARA diagramu výrazně doprava. Proto při ochlazování, například na vzduchu vzniká s obsahem chromu do rozsahu oblasti  $\gamma$  martenzitická struktura. V úzké oblasti  $\alpha + \gamma$  odpovídající obsahu chromu je výslední struktura martenziticko-feritická, při vyšším obsahu chromu nad danou oblast je struktura feritická. Druhým obecně nejdůležitějším legujícím prvkem je nikl. Chromové oceli legované niklem dosahují vyšší



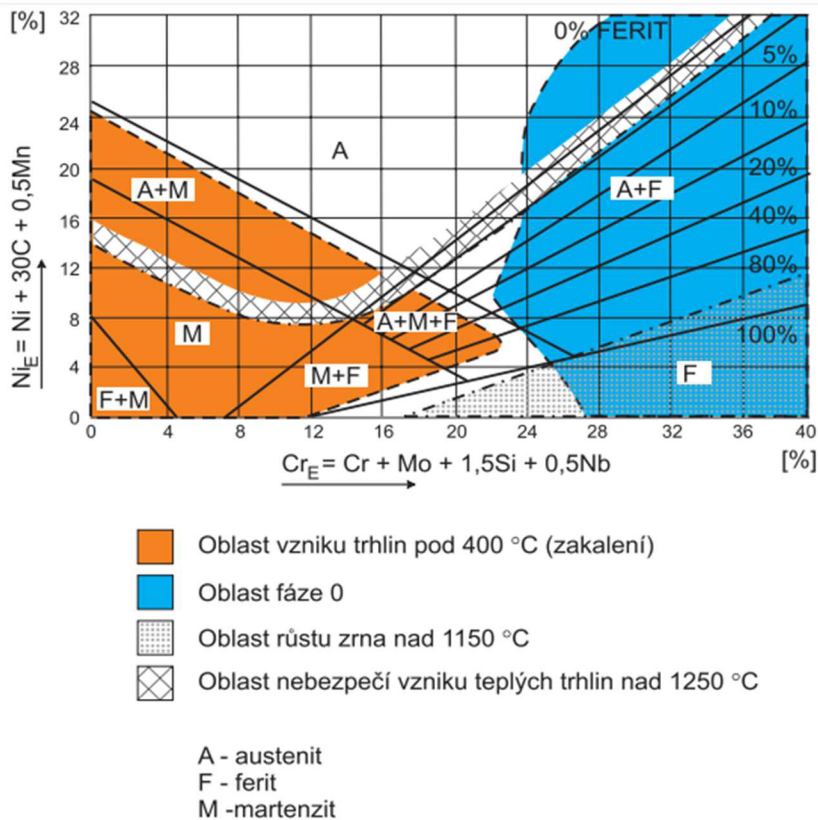
Obr. 13 Rovnovážný diagram Fe -Cr [18]

korozní odolnosti a větší houževnatosti. Je to způsobeno austenitickou strukturou, protože austenit se vyznačuje v porovnání s feritem vyšší rozpustností uhlíku a tím se snižuje možnost precipitace karbidů chromu. Struktura Cr – Ni ocelí je výslednicí kombinace faktorů austenitotvorných a feritotvorných prvků v dané oceli (viz. tab. 2). Dopad všech feritotvorných prvků je vyjádřen tzv. ekvivalentem  $Cr_E$  a vliv všech austenitotvorných prvků je vyjádřen tzv. ekvivalentem niklu  $Ni_E$ .

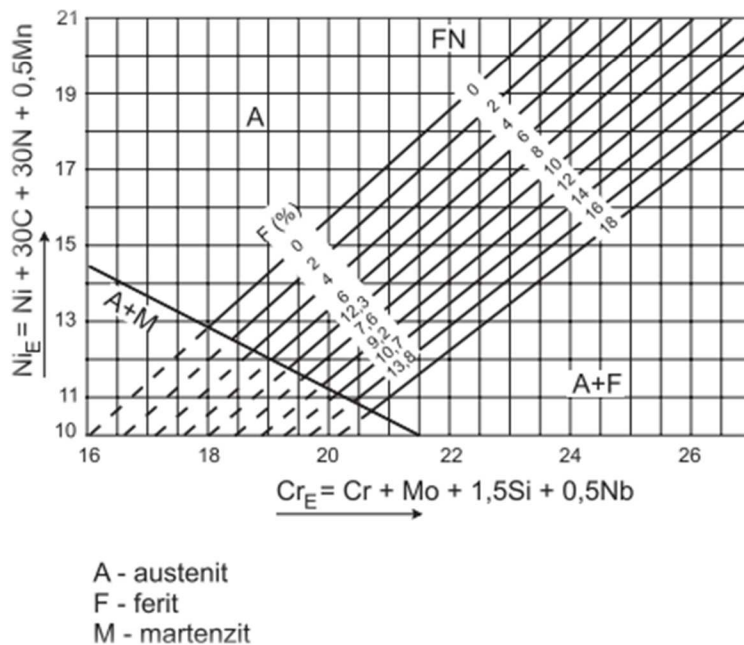
Tab. 2 Austenitotvorné a feritotvorné prvky[1].

|                       |    |    |   |    |    |    |
|-----------------------|----|----|---|----|----|----|
| Austenitotvorné prvky | Ni | Mn | N | Cu | -  | -  |
| Feritotvorné prvky    | Si | Mo | V | Ti | Al | Nb |

Každý z těchto prvků má výrazný vliv na vlastnosti korozivzdorných ocelí. Mangan může často nahradit dražší nikl, snižuje náchylnost na praskání svaru, ale se zhoršuje obrobiteľnosť dané ocele. Dusík nám ovlivňuje pevnost a odolnost vůči bodové a šterbinové korozi. Křemík zvyšuje náchylnost na praskání sváru, ale zvyšuje odolnost vůči korozi. Molybden zvyšuje odolnost pro korozi ve všech prostředí, zvyšuje žárupevnost a podporuje vylučování intermediálních fází. Měď patří mezi slabý austenitotvorný prvek, používá se k legování vytvrditelných ocelí. Zlepšuje především korozní odolnost a obrobiteľnosť.



Obr. 14 Schaefflerův diagram [18]



Obr. 15 Longův diagram [18]

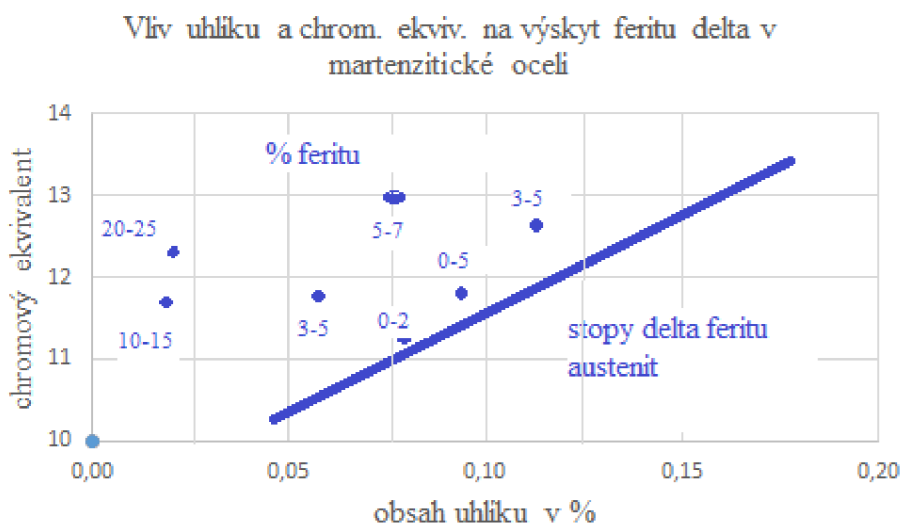
Titán a Niob vzhledem k vysoké afinitě k uhlíku tvoří v oceli karbidy a snižuje obsah uhlíku v matrici (stabilizace ocelí). Hliník jako prvek zvyšuje žáruvzdornost a spolu s niklem tvoří intermediální fáze, které jsou využívány k precipitačnímu vytvrzování.

Na základě těchto dvou ekvivalentů byl vytvořen Schaefflerův (obr. 14) a De Longův diagram (obr. 15), který napomáhá k odhadům výsledné struktury Cr – Ni austenitických ocelí.

De Longův diagram rozšiřuje Schaefflerův diagram, ve kterém je zařazen i dusík, jako významný austenitotvorný prvek. Je možno ho použít pro austenitické chromniklové oceli legované dusíkem. Naopak není vhodný pro použití u oceli s vysokým procentem manganu. Všechny diagramy lze využít k odhadům obsahu feritu a austenitu v základním materiálu, ale i svařových kovech. Při odhadu podílu feritu ve svařových kovech je nutné uvažovat se stupněm promíšení mezi základním materiálem a svařovaným materiálem. Promíšení je závislý především na použité technologii svařování a parametrech svařování.

## 2.3 Martenzitické korozivzdorné oceli [1], [18], [19], [20], [21]

Martenzitické oceli jsou ze všech korozivzdorných ocelí charakterizovány nejvyšší pevností a naopak nejmenší korozní odolností. Oceli obsahují více chromu a to od 12 do 18 % s obsahem uhlíku do 1,5 %, které po zakalení mají martenzitickou strukturu. Při vyšším obsahu uhlíku dochází k vylučování delta feritu z taveniny. Vyšší obsah chromu nad 12 % a tým i vyšší odolnost vůči korozi je zapříčiněná tím, že obsahuje prvky rozšiřující oblast  $\gamma$ . Maximální povolený obsah delta feritu v martenzitických korozivzdorných ocelích mechanicky namáhaných je 20%. Vyšší množství je nežádoucí, z důvodu klesající vrubové houževnatosti. Samotný obsah feritu delta v matici závisí od chemického složení tj. na obsahu jednotlivých prvků. Kladný vliv, tudíž vznik delta feritu podporují feritotvorné prvky, opačný efekt mají prvky austenitotvorní. Oba vlivy jsou vyjádřena ekvivalentem chromu. Vliv uhlíku a chromového ekvivalentu na výskyt delta feritu v matici je zobrazen v diagramu na obr. 16.



Obr. 16 Diagram závislosti obsahu uhlíku na chromovém ekvivalentu [18]

Chromový ekvivalent  $E_{Cr}$  byl v tomto případě vypočten z následujícího vztahu:

$$E_{Cr} = [ \% Cr ] + 2 [ \% Si ] + 1,5 [ \% Mo ] - 2 [ \% Ni ] - [ \% Mn ] \quad (2.1)$$

Pokud nechceme, aby se vylučoval v matici delta ferit, musíme kromě snížení obsahu uhlíku upravit také ekvivalent chromu. Nejvyšší korozní odolnost všech korozivzdorných martenzitických ocelí nejlépe dosáhneme u leštěného povrchu. Největším nebezpečím při užití martenzitických korozivzdorných ocelí je křehnutí. Křehnutí může nastat po ohřevu na teplotu 350 - 550 °C, a proto je nutné se tomuto teplotnímu rozmezí při tepelném zpracování vyhnout. Nebezpečné je i křehnutí způsobené vodíkem, které může vznikat po tepelném zpracování v určitých atmosférách nebo při moření.

Chemický složení martenzitických ocelí je velice závislé na množství rozpuštěného chromu v tuhém roztoku. Jestliže se nezaručí minimální obsah chromu, nemusí se zaručit schopnost pasivace. Důležitý je však i obsah uhlíku v dané oceli, protože chrom se částečně váže s uhlíkem jako karbid. Z toho plyne, že minimální obsah je  $\% Cr = 11,74 + 14,54 \% C$ . Proto u ocelí s nižším obsahem uhlíku je optimální obsah mezi 12 - 14 % a při vyšším obsahu se pohybuje táhle hodnota chromu mezi 14 až 16 %. Samotný uhlík výrazně ovlivňuje

vlastnosti, jako jsou tvrdost, pevnost a svařitelnost daných martenzitických ocelí. Zvyšování obsahu nám pozitivně ovlivňuje pevnost, naopak klesají plastické vlastnosti, a taky se zhoršuje svařitelnost. V tab. 3 jsou uvedené vybrané martenzitické korozivzdorné ocele.

Tab. 3 Martenzitické korozivzdorné ocele [20] .

| Jakost ocelí | Chemické složení v % |    |     |      |           |             |           |           |
|--------------|----------------------|----|-----|------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| EN           | C                    | Si | Mn  | P    | S         | Cr          | Mo        | Ni        |
| X12CrS13     | 0,08-0,15            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,15-0,35 | 12,0-14,0   | <0,65     | -         |
| X12Cr13      | 0,08-0,15            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,03      | 11,5-13,50  | -         | <0,75     |
| X20Cr13      | 0,16-0,25            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,03      | 12,0-14,0   | -         | -         |
| X30Cr13      | 0,26-0,35            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,03      | 12,0-14,0   | -         | -         |
| X39Cr13      | 0,36-0,42            | 1  | 1   | 0,04 | 0,03      | 12,5-14,5   | -         | -         |
| X46Cr13      | 0,40-0,50            | 1  | 1   | 0,04 | 0,03      | 12,5-14,5   | -         | -         |
| X14CrMoS17   | 0,10-0,17            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,15-0,35 | 15,50-17,50 | 0,20-0,60 | -         |
| X39CrMo17-1  | 0,33-0,45            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,03      | 15,50-17,50 | 0,80-1,30 | <1,00     |
| X17CrNi16-2  | 0,12-0,22            | 1  | 1,5 | 0,04 | 0,03      | 15,00-17,00 | -         | 1,50-2,50 |

Křemík jako legující prvek je omezen do hranice 0,7 %, protože zvyšuje obsah právě nežádoucího delta feritu. U tvárněných ocelí výrazně ovlivňuje plastické vlastnosti fosfor, proto je žádoucí snížit jeho obsah pod 0,025 %. Také u hliníku se nepovoluje obsah na 0,020 %, protože začíná klesat vrubová houževnatost. Dalším legujícím prvkem se sníženým obsahem je síra, která zpomaluje tvorbu pasivační vrstvy. Naopak schopnost pasivace a odolnost vůči popouštění nám pomáhá přísadový prvek molybden.

### 2.3.1 Tepelné zpracování [21]

Homogenizační žhání příznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti martenzitických korozivzdorných ocelí a především u ocelí na odlitky s obsahem uhlíku vyšším než 0,2 % za účelem zvýšení mechanických vlastností, zejména vrubové houževnatosti. Teplota se při homogenizačním žhání pohybuje mezi 1100 až 1500 °C. Výdrž na této teplotě je hodně dlouhá 10 ž 12 hodin.

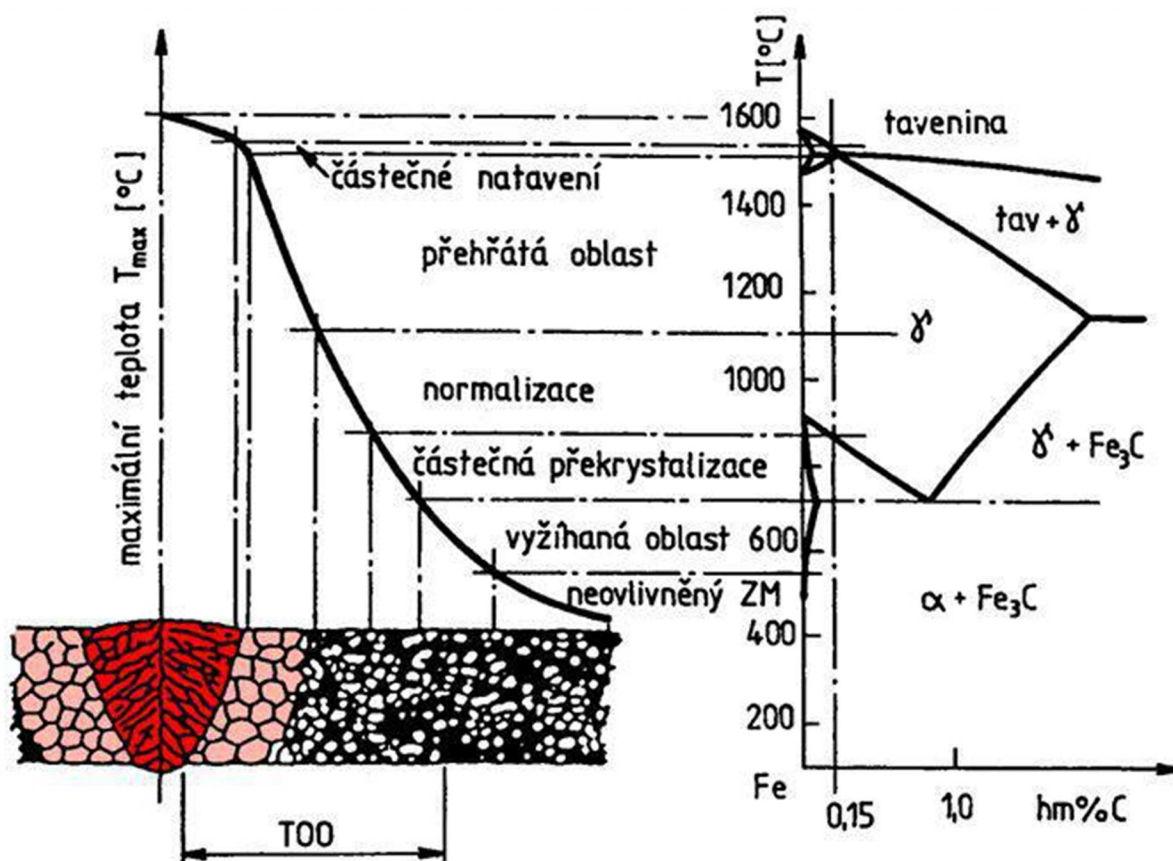
Martenzitické oceli se vyznačují vysokou prokalitelností , lze kalit na vzduchu i součástky s tlustou stěnou. Ochlazovací rychlost je z austenitizační teploty maximálně asi 30 °C. Je to především proto, aby proběhla difúzní transformace austenitu. Proto se u těchto ocelí neprovádí normalizační žhání.

Při popouštění se v matici vylučují karbidy. Jejich typ závisí na teplotě popouštění a výdrži na ní. Popouštěcí teploty se především volí v závislosti na požadované korozní odolnosti a vrubové houževnatosti. Popouštěcí teploty se pohybují kolem 700 až 750 °C, pokud se žádá vysoká vrubová houževnatost. Při volbě dané teploty je třeba brát do úvahy taky obsah uhlíku a legujících prvku, které popouštěcí teplotu ovlivňují. Popouštění má také vliv na odolnost vůči korozi. Při teplotě nad 550 °C klesá, protože vylučuje karbidy chromu. Ochladuje se maximální rychlostí, protože se vyvíjí vysokoteplotní popouštěcí křehkost, která snižuje vrubovou houževnatost.

### 2.3.2 Svařitelnost martenzitických ocelí [1], [21], [22], [23]

Hlavním úkolem svařování korozivzdorných ocelí je především zajištění odpovídající korozní odolnosti ve svarových švech. Korozní odolnost lze zaručit zejména správnou volbou přídatného materiálu, jakostí svarového spoje a volbou metody svařování. Při svařování je důležité vzít v potaz propal jednotlivých prvků, které nám zaručují důležité fyzikální a mechanické vlastnosti slitiny. Může mít například za následek nejčastěji ztrátu korozní odolnosti.

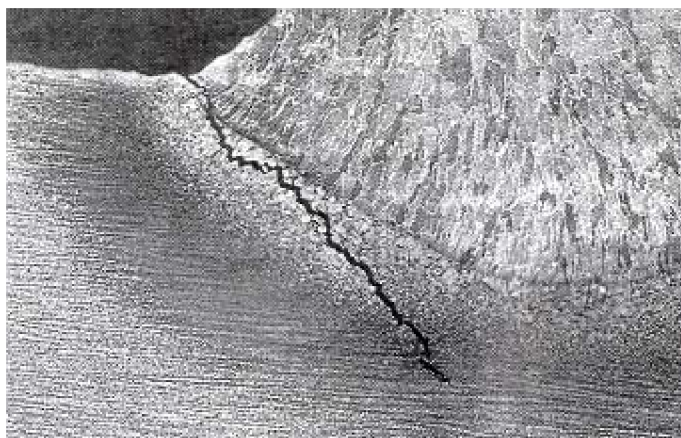
Martenzitické chromové oceli se svařují v žíhaném, popouštěném, zušlechťeném a pevném stavu. Protože nejčastější tepelné ovlivnění martenzitických korozivzdorných ocelí je právě při svařování, je důležité věnovat této části zvýšenou pozornost, především tepelným poměrům při navařování přídatného materiálu. Protože to má za následek výslednou kvalitu svarového spoje. Před svařováním a působením tepelného zdroje se teplota základního materiálu rovná teplotě okolí. Svařováním v okolí svaru nastává teplotní cyklus, kdy teplota rychle vystoupá na maximum, a pak opět pomalu klesá. Svarový spoj pak vzniká vzájemným stavením základního a přídatného materiálu. Část materiálu, který je ovlivněn teplem od svařování, označujeme jako teplotně ovlivněnou oblast (TOO) vid' obr. 17.



Obr. 17 Teplotně ovlivněná oblast sváru [1]

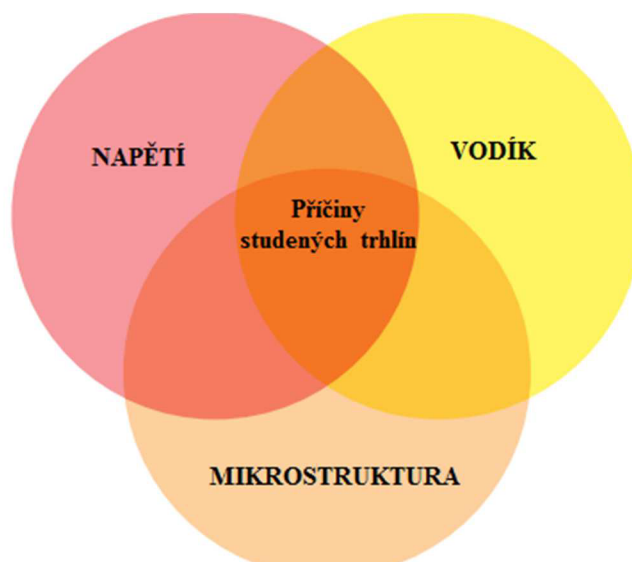
Mezi fyzikální veličiny, které ovlivňují tepelné namáhání svaru, patří: množství tepla dodané svařováním, typ svařování a termo-fyzikální hodnoty základního materiálu, který závisí na chemickém složení korozivzdorné martenzitické oceli a teplotě. Na možné vytvoření pásma citlivého k vzniku mezikrystalové korozi má vliv pouze teplo přivedené do základního

materiálu, způsob tuhnutí a ochlazování svarového spoje. Základním problémem při svařování martenzitických chromových ocelí je především náchylnost na tvorbu studených trhlin (obr. 18). Studené trhliny jsou defekty, které vznikají nejčastěji v podhousenkové oblasti svarových spojů při nízkých teplotách asi pod 200 °C. Orientace trhlín mohou být příčné, podélné a mohou procházet všemi oblastmi. Trhliny jsou transkrystalického charakteru, s neoxidovaným lesklým povrchem. Vznik trhlín ovlivňují tři základní faktory (obr. 19), přítomnost vodíku ve svarovém spoji, přítomnost struktury citlivé na účinek vodíku a přítomnost tahových zbytkových napětí. Nejčastější příčinou přítomnosti vodíku ve svaru je atmosférická vlhkost, vlhkost z obalu elektrod popřípadě tavidel.



Obr. 18 Studená trhlina [22]

Náchylnost ocelí na vznik studených trhlín souvisí také s transformačním zkřehnutím v TOO, které je dané chemickým složením ocelí, nebo svařovacím cyklem například časem ochlazování  $\Delta t$  (800 – 500 °C). Svařovací cyklus lze ovlivnit volbou technologie svařování, změnou parametrů a použitím přehřevu a dohřevu. V případě že v oblasti sváru působí tahové napětí může nám to výrazně ovlivnit praskavost návaru. Ve svaru se objeví přechodná a zbytková napětí.



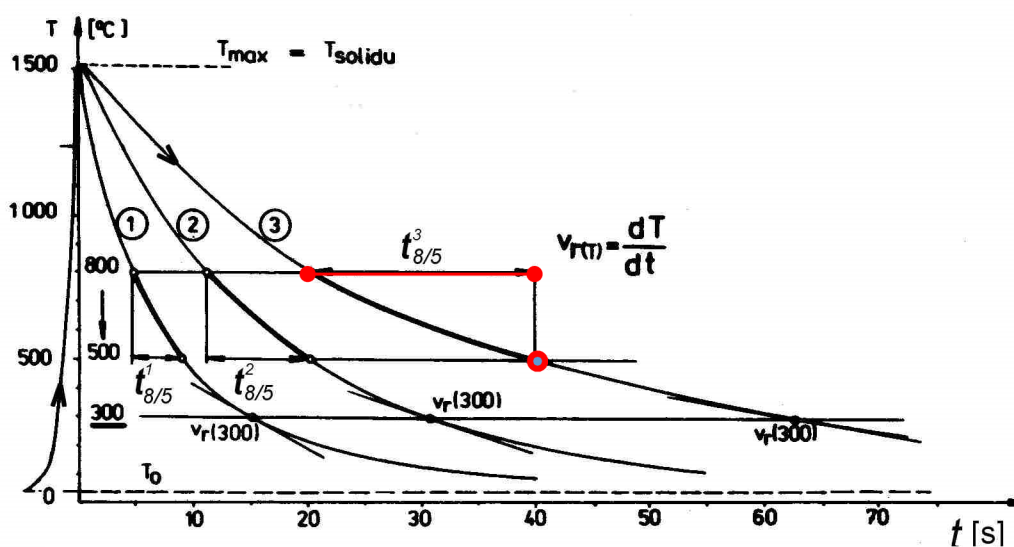
Obr. 19 Příčiny vzniku studených trhlín [22]

Opatření, které jsou třeba dodržet, a tak zamezit vzniku trhlín jsou uvedeny v tab. 4.

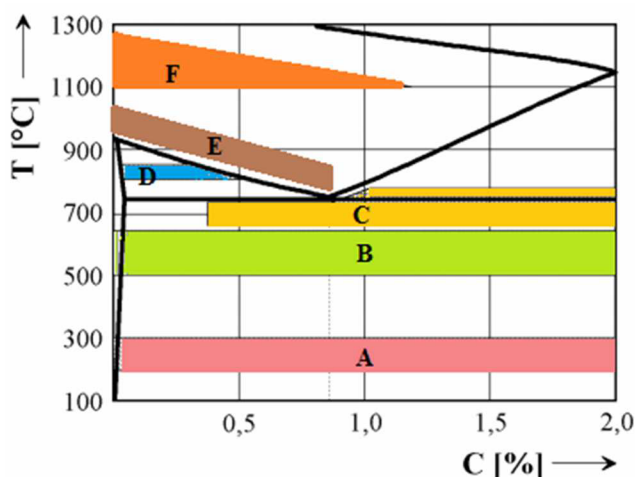
Tab. 4 Opatření k zamezení vzniku studených trhlín [1].

| <b>Zamezení vzniku studených trhlín:</b>   |
|--|
| - používat nízkovodíkové technologie svařování                                   |
| - před použitím přídavného materiálu pečlivě provádět sušení                     |
| - skladování a manipulace s přídavným materiálem, tak aby nedošlo k navlhnutí    |
| - aplikovat přehřev, dohřev, používat vyšší měni příkon svařování                |
| - minimalizovat vznik zbytkových napětí vhodnou volbou metody svařování          |
| - vyvarovat se ostrých vad v kořenové oblasti (neprůvary, studené spoje, zápaly) |

Martenzitické ocele s obsahem 12 až 13 hm % při nižším obsahu uhlíku se doporučuje teplota předehřevu cca 250 °C tedy mezi  $M_f$  (cca 100 °C až do 150 °C). Při této teplotě se nachází ve struktuře dostatek austenitu, ve kterém se rozpouští difúzní vodík. Teplotu předehřevu lze stanovit dle diagramu anizotermického rozpadu austenitu. Z ARA diagramu lze určit teplotu  $M_s$ , počátek proměny austenitu na martenzit a teplotu ukončení transformace austenitu (teplota  $M_f$ ). Následně lze určit s jakým množstvím transformovaného austenitu, jako vysoce plastické fáze, budeme svařovat. S vysokou teplotou předehřevu, tj. v oblasti teploty  $M_s$ , předejdeme tvorbě trhlin za studena v průběhu svařování, naopak je nebezpečí tvorby trhlin za studena v průběhu ochlazování. Vyšší teplotou předehřevu prodlužujeme ochlazovací dobu  $\Delta t_{8/5}$ . Na obr. 20 jsou zobrazeny křivky chladnutí s různými parametry svařování. Všeobecně teploty předehřevu závisí na chemickém složení základního materiálu a svarového kovu, metodě svařování a parametrech svařování, množství difúzního vodíku ve svarovém kovu.



Obr. 20 Ochlazovací doba  $\Delta t_{8/5}$  [1]



Obr. 21 Teplotní oblasti druhů žhání  
A- Odstranění vodíku, B- odstranění vnitřních pnutí, C- na měkko, D- s částečnou austenitizací, E- normalizační, F- homogenizační [23]

U martenzitických ocelí se doporučuje svařovat přídavný materiál menších průměru z důvodu, aby následující vrstva vyžihala co největší objem předcházející vrstvy svarového kovu. Účelem dohřevu je umožnit difúzi vodíku.

V pásmu přehřátí TOO je hraniční hodnotou požadovaných mechanických vlastností často vrubová houževnatost. Proto je třeba svarové spoje tepelně zpracovat například žháním na snížení vnitřního pnutí při teplotách pod  $A_{c1}$ . Důvodem tohoto tepelného zpracování je také popustit martenzit. Sníží se jeho tvrdost, ale naopak zvýší se tažnost a houževnatost sváru. Na obr. 21 jsou znázorněny teplotní oblasti některých druhů žhání.

Svary je velice důležité ochladit pod teplotu  $M_f$ , aby proběhla martenzitická proměna beze zbytků. Avšak může ve svarovém spoji zůstat určité množství zbytkového austenitu. V tomhle případě je nutné použít dvojnásobného žíhání. V důsledku vysoké vrubové citlivosti martenzitických ocelí se u svařování musíme vyhnout vrubům. Dalším negativním jevem je vysoká rychlost ohřevu na žíhací teplotu, příčinou je vznik teplotního rozdílu mezi povrchem a středem jeho tloušťky. Zbytkové pnutí, strukturní pnutí a dodatečný termální napětí pak mohou při teplotě 200 až 300 °C vznikat nízkoteplotní žíhací trhliny. Proto se doporučuje rychlost ohřevu na žíhací teplotu v rozmezí od 30 až do 80 °C/1h.

Ne vždy můžeme provést tepelné zpracování po svaření. Tehdy se doporučuje svarové plochy navařit austenitickým přídavným materiálem. Návar se provádí při nízkém tepelném příkonu a nízké teplotě předehřevu.

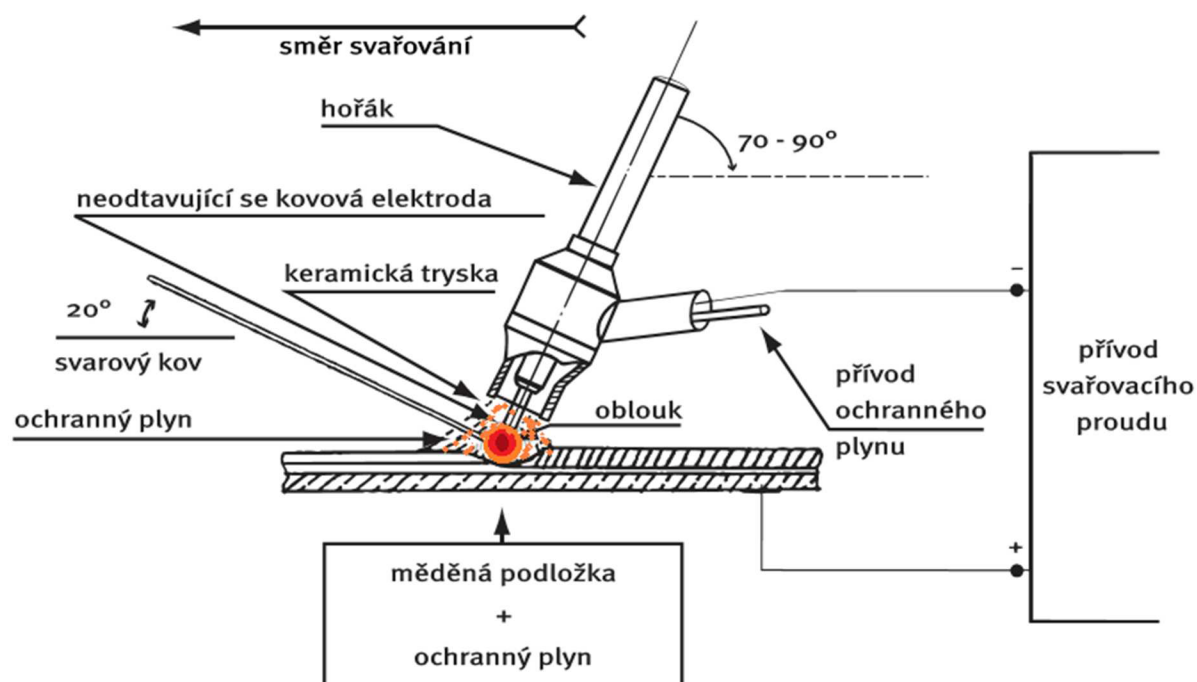
Přídavný materiál má stejné chemické složení jako základní s nízkým obsahem difúzního vodíku. Kde to pevnostně vyhovuje, tak můžeme použít austenitické přídavné materiály.

## 2.4 Metody svařování korozi-vzdorných ocelí [1]

Při svařování korozi-vzdorných ocelí můžeme použít běžné technologie svařování, jako jsou svařování elektrickým obloukem, odporové svařování, nebo svařování laserem a elektronovým paprskem.

### 2.4.1 Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu [24], [25]

Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu je spíš známe pod názvem TIG, nebo také WIG. Energie potřebná pro tavení kovu je dodávána hořením, které začíná zapálením oblouku a je udržována mezi netavící se elektrodou a základním materiálem, pod inertní nebo mírně redukovanou atmosférou. Princip ručního obloukového svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu je zobrazen na obr. 22.



Obr. 22 Princip svařovací technologie TIG [24]



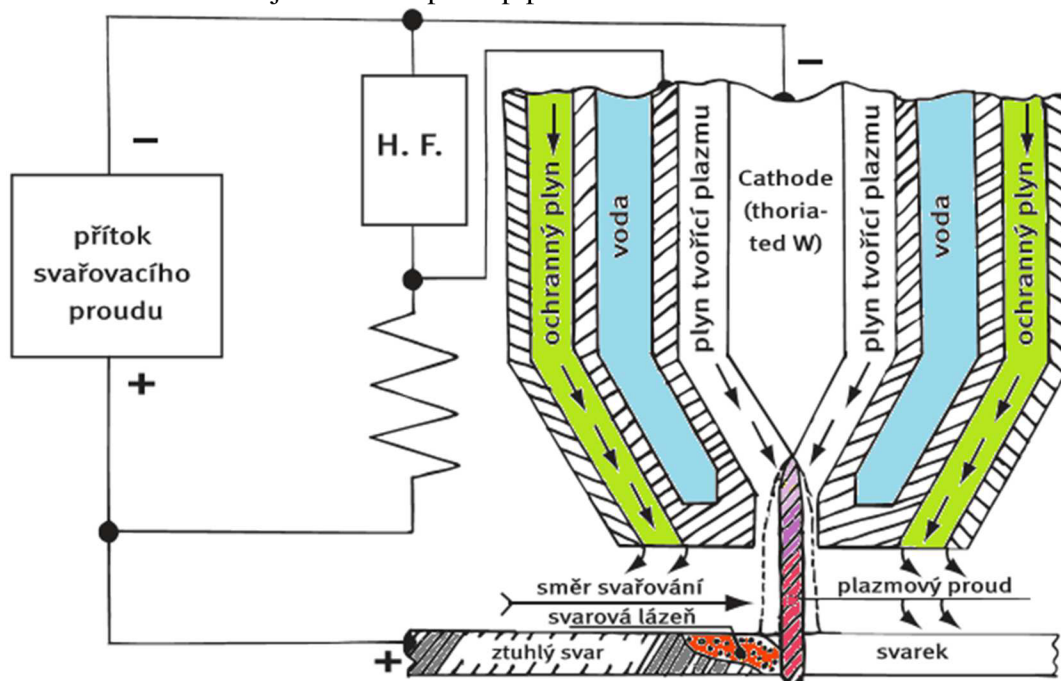
Princip metody spočívá v natavování základního materiálu, do kterého se postupně přidává a odtavuje přidavný materiál s vhodným chemickým složením. Svarový kov se používá ve formě tyčinky nebo svinutého drátu a je buď dodáván ručně, nebo automaticky z cívky. Korozivzdorní ocele jsou vždy svařované stejnosměrným proudem. V tomto případě může být elektroda zapojená k zápornému pólu nebo stejnosměrným proudem s přímou polaritou. Více tepla se pronáší do základního materiálu, proto není elektroda přetěžovaná a závar má dostatečnou hloubku. Metoda TIG je omezena tloušťkou svařovaného materiálu, který se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 5 mm. V závislosti na výběru základního materiálu se volí ochranní plyny, které se skládají ze směsi argonu, hélia a vodíku. V tab. 5 jsou uvedeny výhody této metody.

**Tab. 5 Výhody obloukového svařování TIG [24].**

| Přednosti metody TIG při svařování korozivzdorných ocelí:                  |
|--|
| + úzká oblast natavení   |
| + velmi stabilní oblouk, tavná lázeň malých rozměrů                        |
| + není rozstřík, oxidace usazenín eliminovaná                              |
| + výborná metalografická kvalita, s přesným řízením průvaru s tvarem svaru |
| + hluboké svary bez pórů   |
| + nízké opotřebení elektrody   |
| + snadné pro obsluhu   |

#### 2.4.2 Plazmové obloukové svařování [24], [26]

Svařování plazmou je podobné jako obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu. Podstatný rozdíl je, že plazmový oblouk je stlačený elektrický oblouk usměrněn v trysce, dosahující teploty mezi 10 000 a 20 000 °C. Jako způsob svařování se používá tzv. přenesený oblouk, kde usměrněný oblouk hoří mezi elektrodou a základním materiálem. Na obr. 23 je zobrazen princip plazmového svařování metodou klíčové dírky.



*Obr. 23 Princip svařování plazmou [24]*

Termín plazma se dnes užívá ve více odvětvích s odlišným významem. V tomto případě označuje určitou formu disociovaného a vysoce ionizovaného plynu, který umožňuje hoření elektrického oblouku. Koncentrovaný sloupec tohoto plazmového media vzniká stabilizací elektrického oblouku průchodem chlazenou tryskou. Na vnitřním povrchu stěn trysky pak dochází k rekombinaci ionizovaných částic. Tím se jádro silně přehřívá a vznikající úzký sloupec plazmového oblouku se projevuje svými specifickými vlastnostmi, jako vysoce zkoncentrovanou energií a axiální dynamickou složkou.

Samotný plazmový paprsek je extrémně tenký. Z toho důvodu je třeba zajistit ochranu lázně, a to přidáním většího průměru prstencového proudu ochranného plynu. Ochranné plyny jsou zejména čistý argon, směs argonu s vodíkem a směs argonu s héliem. Směsi obsahující vodík jsou při svařování martenzitických ocelí zakázané. Doporučuje se přidávat dusík pro udržení podílu austenitu a feritu ve sváru. Plazmové svařování může být ruční nebo automatický. Při automatickém svařování se doporučuje svařovat metodou tzv. klíčové dírky. Nárůst proudu a proudění plazmového plynu má za následek vznik výkonného plazmového paprsku, který docílí plného průvaru. V tab. 6 jsou uvedené výhody metody svařování plazmou. Základními parametry při svařování plazmovým obloukem jsou svařovací proud, napětí elektrického oblouku, rychlost svařování a výlet elektrody. Kromě základních parametrů má vliv na kvalitu svarového spoje také druh použitých plynů, čistota plynu, druh a tvar netavící se elektrody a vzdálenost hubice od svařovaného materiálu. Velmi dobře se plazmou svařují vysokolegované oceli, feritické chromové oceli, martenzitické chromové oceli, austeniticko-feritické oceli duplexní a austenitické oceli.

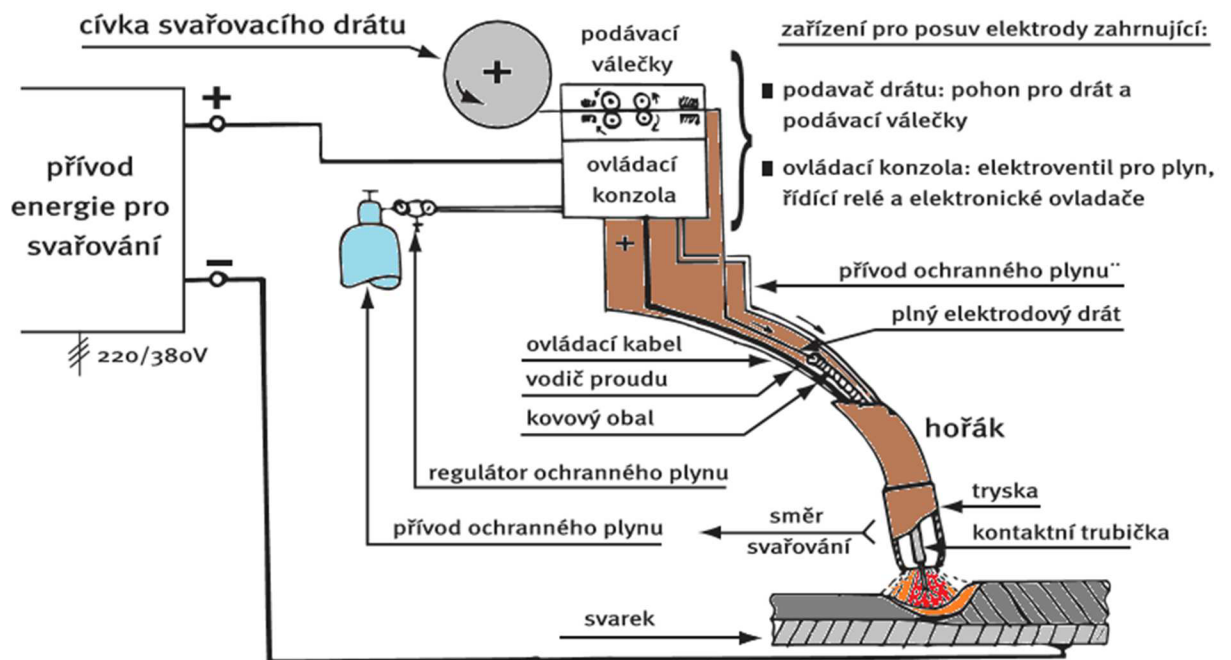
Tab. 6 Výhody plazmového svařování [26].

| <b>Přednosti metody plazmového svařování korozivzdorných ocelí:</b>  |
|--|
| + jednoduchá příprava spojů ke svařování   |
| + charakteristické formování svaru   |
| + možnost svařování ve vodorovné poloze bez podložení kořene   |
| + větší rychlost svařování, vysoká produktivita práce  |
| + možnost mechanizace svařovacího procesu  |
| + zabezpečení dokonalého provařeného kořene svaru  |
| + mechanické a pevnostní vlastnosti sváru jsou v souladu s pevnostními charakteristikami základního materiálu ve vyžádaném stavu |
| + vysoká celistvost svarového kovu a minimální tepelně ovlivněné oblasti   |

#### 2.4.3 Svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu [24], [27]

Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu je známa jako metoda MIG a svařování v aktivním plynu je známé pod názvem MAG. U metody MIG svařovací teplota vzniká hořením elektrického oblouku mezi tavícím se drátem, nebo elektrodou a základním materiálem. Plyn u metody MAG se aktivně zúčastňuje chemických reakcí v daném roztaveném kovu.

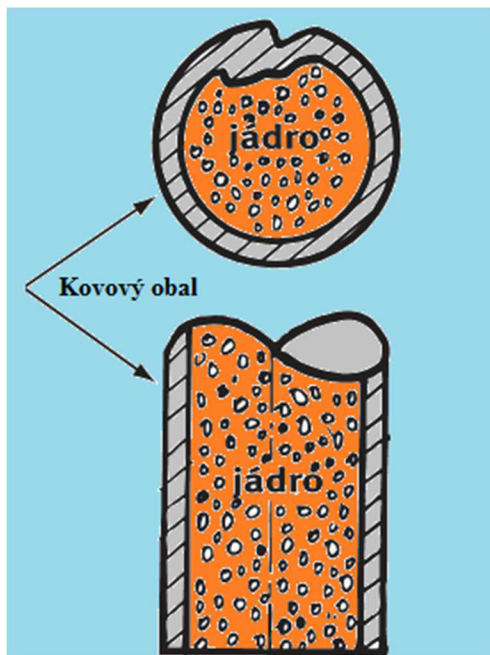
Na obr. 24 je zobrazen princip svařování tavící se elektrodou v inertním plynu. Proudová hustota je nejvyšší ze všech metod. Korozivzdorné oceli jsou vždy svařovány stejnosměrným proudem s elektrodou na kladném pólu nebo se stejnosměrným proudem s nepřímou polaritou.



Obr. 24 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním plynu [24]

U metody MIG/MAG rozlišujeme tři základní přenosy. Prvním je přenos zkratový. Zde, je kov roztaven do velkých kapek, které jsou průměrově větší než samotný drát. Kapky, které se nachází na konci elektrody, vytvoří zkrat s okamžitým nárůstem proudu. Povrchové napětí má za následek oddělení kapek od elektrody.

Druhým mechanismem je kapkový přenos. Podobně jako u předchozí metody nastává tavení do tvaru velkých kapek. K oddělení kapek dochází, když se dostatečné množství kapek nahromadí a překonají síly povrchového napětí. Kapky se dostanou do kontaktu se svarovou lázní kvůli větší obloukové délce. Poslední přenos je tzv. sprchový. V tomhle případě je vyžadována proudová hustota nad jistou úroveň, řádově kolem  $200 \text{ A/mm}^2$ . Tavící se elektroda rozprouští jemné kapky. S rostoucí proudovou hustotou má hrot elektrody kuželový tvar, který proud kapek ještě zjemní.



Obr. 25 Plněná elektroda [24]

Při volbě ochranného plynu pro korozivzdorné oceli je důležité dbát na obsah oxidačních příměsí v plynech, aby jich obsah nebyl vysoký z důvodu zabránění oxidaci ve svaru. Argon s 2% kyslíku dává stabilní proud, a proto se doporučuje pro většinu aplikací. Podobného výsledku však dosáhneme i s argonem se 3 % kysličníku uhličitého. Rychlost a velikost průvaru lze zvětšit v určitých případech přidáním hélia a vodíku.

Vlastnosti svarového spoje se budou měnit v závislosti na použitém materiálu svaru, typu spoje, způsobu přenosu a zručností obsluhy.

Přídavným materiálem u metody MIG/MAG může být plněná elektroda (obr. 25). Plněná elektroda se skládá z korozivzdorného pláště, jádra, které tvoří práškový kov, tavidla a materiálu tvořícího strusku.

Vnitřek může taky poskytovat ochranné plyny v případě plněných elektrod bez ochranného plynu. Táhle metoda kombinuje přednosti ručního obloukového svařování s vysokou produktivitou automatizovaných metod, díky možnosti plynulého posuvu drátu. Ve srovnání s klasickou plnou elektrodou se zvyšuje produktivita struskovou ochranou a rychlostí nanášení vrstvy. Při proudu kolem 200 ampéru je rychlost nanášení u plné elektrody 100 g/min a u plněné přibližně 170 g/min. Tenhle rozdíl je způsoben tím, že v plněné elektrodě vede elektrinu pouze kovový obal.

Svařovací napětí má vliv na rozměry a tvar oblouku. Velikost napětí nám mění šířku svarové housenky. Má také výrazný vliv na typ přenosu kovu. Velikost napětí nám ovlivňuje délku oblouku. Rostoucí napětí zvětšuje délku oblouku a velikost rozstříku. Naopak nízké napětí způsobuje nestabilitu a nedochází k správnému natavování základního materiálu. Svařovací proud nejvíce ovlivňuje tvar svarové housenky a přenos kovu. Intenzita proudu má výrazný vliv na síly působící na kapky kovu. Růstem kovu roste taky frekvence kapek. Nastavení proudu se volí pomocí tabulek nebo praktických zkušeností obsluhy. Proudová hustota roste, když se zmenšuje průměr drátu. Vyjadřuje proudové zatížení. U plněného drátu dosahuje vyšších hodnot než u plného.

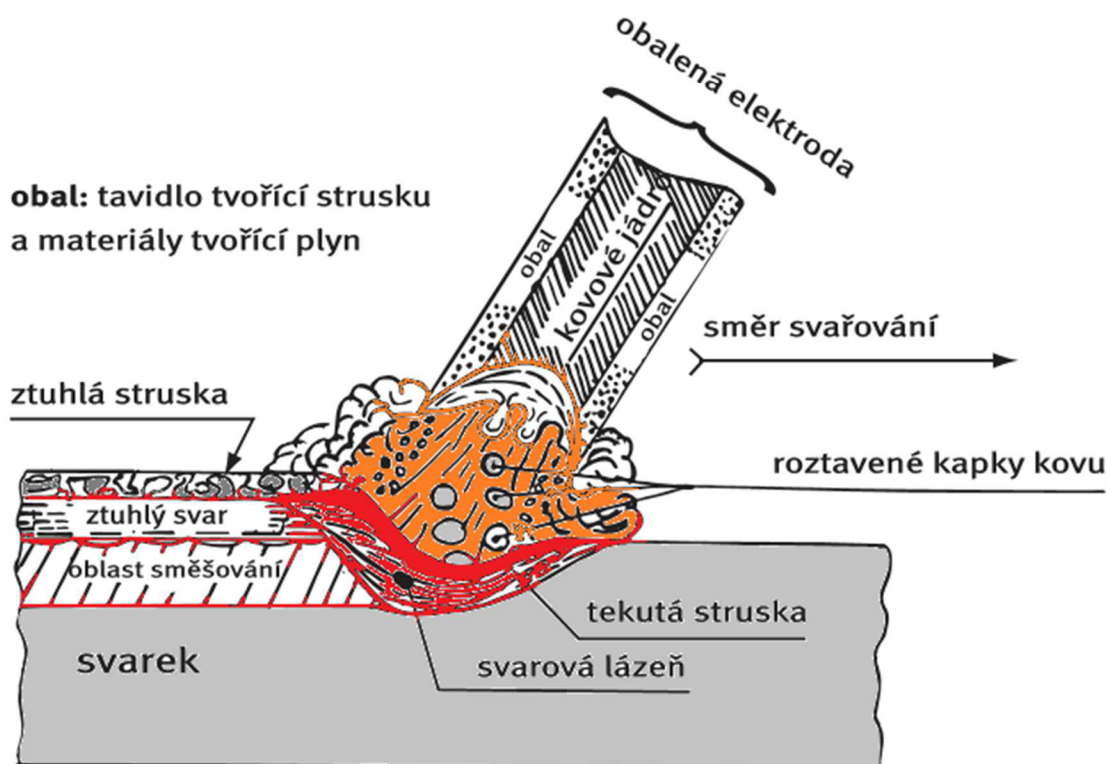
#### **2.4.4. Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou [24], [28]**

Patří mezi nejstarší a jednoduché metody svařování, a i tak má velice vysoké zastoupení z důvodu vysoké flexibility. Tato metoda využívá jako zdroj tepla elektrický oblouk, který vzniká mezi koncem obalené kovové elektrody a svařovacím materiálem. Kov se roztaví a roztavené kapky kovu se z elektrody přenášejí obloukem do svarové lázně a jsou chráněny plyny vznikajícími z rozkladu obalu, který je tvořen tavidly. Elektrický oblouk hoří při normální teplotě a tlaku.

Elektroda se skládá z kovového jádra, které je obaleno vrstvou tavidla. Jádro tvoří často pevný drát z korozivzdorné oceli. Obal má důležitou roli v samotném procesu a poskytuje tři hlavní funkce: elektrickou, fyzikální a metalurgickou. Elektrická funkce má úlohu iniciovat a stabilizovat elektrický oblouk. Fyzikální účinek má vliv na viskozitu a povrchové napětí strusky, které chrání lázeň a ovlivňuje přenos kapek a jejich smáčení. Chemické změny mezi lázní a struskou jsou zahrnuté ve funkci metalografické. Na obr. 26 je znázorněn princip ručního obloukového svařování.

Obalená elektroda má funkci ionizační, která slouží pro snadné zapálení a hoření oblouku. Při hoření elektrického oblouku se roztavená struska dostává na povrch svarové lázně, kde během tuhnutí zabraňuje přístupu atmosféry do svarového kovu. Kdyby se nezabránilo přístupu, svar by byl v takovém případě nekvalitní. Po svaření každé housenky je důležité odstranit strusku. Obal elektrody se nám skládá z látek a přísad.

Struskotvorné látky jsou buď kyselé ( $\text{SiO}_2$ ), zásadité ( $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ), nebo popřípadě se může jednat taky o chemicky neaktivní, což je například rutil ( $\text{TiO}_2$ ). Se svarovým kovem reaguje struska stejně jako struska elektrické obloukové pece. Rozhodující vlastnosti pro správný výběr elektrody jsou struskotvorné látky, které se nachází v obalu elektrody. Mezi ne patří rafinační látky, které mají za úkol dezoxidovat svarový kov. Používá se ferromangan, ferrosilicium, nebo ferrotitan. Vznikají tzv. kysličníky, které se nesmí rozpustit ve svarovém kovu, ale musí přecházet do strusky. Legující přísady nám umožňují v obalu výrobu speciálních elektrod, které poskytují svarovému kovu úplně odlišné složení, než má jádro. Plynotvorné přísady se při hoření oblouku spalují a vytvářejí velké množství plynů, které chrání roztavený kov před vzduchem. Ionizační přísady obsahují prvky o nízkém potenciálu a usnadňují tak zapálení oblouku a zajištění dobrého hoření. Pojivové látky mají funkci, která zajišťuje spojení, pevnost a pružnost obalu.



Obr. 26 Princip ručního obloukového svařování [24]

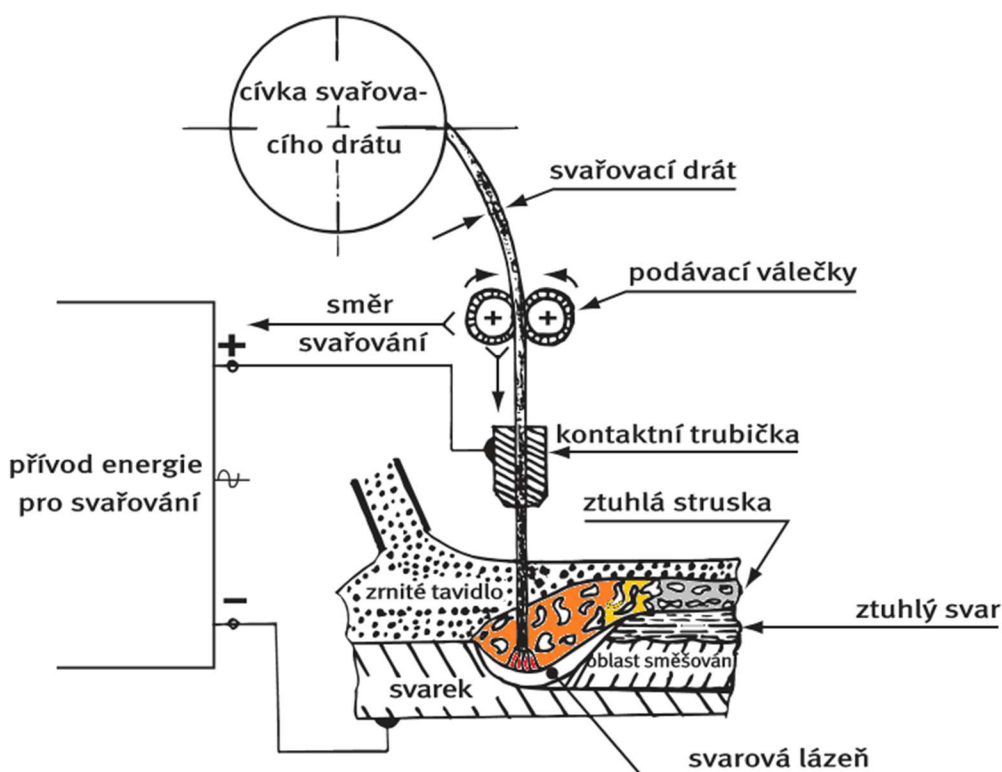
Nejčastěji používané obalové elektrody jsou rutilové a bazické. Hlavní ochranný mechanismus rutilových elektrod je vytváření strusky. Rutilové elektrody mají malý rozstřík, svary jsou hladké a struska se tvoří při svařování a je lehce odstranitelná. Můžou se používat při střídavém proudu nebo stejnosměrném proudu.

Hlavní složka bazické obalové elektrody je vápenec, který má příznivý vliv na metalurgické vlastnosti a stabilizaci oblouku. Vápenec uvolňuje kysličník uhličitý, který poskytuje ochranný plyn. Obrovskou nevýhodou vápence je jeho vysoká teplota tavení. U bazických elektrod třeba dbát hodně na to aby neboli ve vlhkem prostředí, před svařováním třeba sušit kolem 150 až 250 °C po dobu jedné hodiny. Bazické elektrody se používají zásadně u stejnosměrného proudu s elektrodou na kladném pólu.

#### 2.4.5 Svařování pod tavidlem [24]

Teplu je tvořeno průchodem silného elektrického proudu mezi jedním a více trvalými dráty a svarem pod tavidlem. Na obr. 27 je zobrazen princip svařování pod tavidlem. Tavidlo je tvořeno ochranným roztaveným struskovým obalem. U svařování korozivzdorných ocelí je tato metoda plně automatizovaná. Svařovací proud dosahuje vysoké hodnoty až do 2000 ampér na elektrodu. Vysoký výkon zapříčiní velké promíšení mezi přídavným a základním materiálem.

Metoda je především vhodná pro koutové a tupé sváry v poloze vodorovně shora a pro koutové sváry v poloze vodorovně šikmo shora. Jako zdroj proudu se využívá stejnosměrný proud s obrácenou polaritou. Základem je, aby byla u generátoru rychlost posuvu drátu stejná jako rychlost tavení, kvůli dosažení stabilního oblouku. U korozivzdorných ocelí se jako typická tavidla používají vápencového nebo fluoridového typu. Existují dva typy a to tavená, které jsou při ohřevu na teploty kolem 1600 až 1700 °C přetvářené drcením nebo drcením a proséváním do práškové formy. Sintovaná tavidla jsou vyráběná z materiálu s vhodnou velikostí zrn a spojují se pojivem. Směs je pak vysoušená a mechanicky ošetřena, aby bylo dosažené finální velikosti.



Obr. 27 Princip svařování pod tavidlem [24]

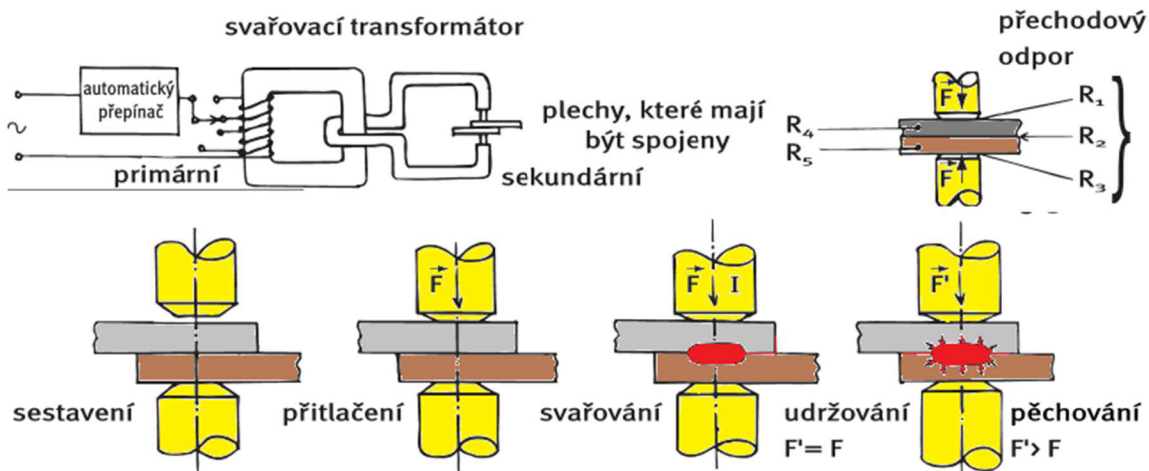
Během samotného svařování se z tavidla taví jen část a zbytek materiálu je obvykle pomocí sání vrácen zpět do násypky. Tavidlo tuhne za oblastí svařování, smršťuje se chladnutím a může být snadno odděleno. Tavidlo musí být vždy dodáváno v suchém stavu. Pokud tavidlo zvlhne, doporučuje se vysoušet při teplotě 300 °C. U hrubších materiálu se obvykle provádí sváry s dvěma housenkami, u tenčích stačí jenom jedna vrstva s pomocí podložení pásovou ocelí. U vícevrstvého svaru je z důvodu vysokých svařovacích energií možnost tvorby sigma fáze. Jako řešení se doporučuje žíhání při teplotě 1050 °C.

Metoda svařování pod tavidlem je především používána při spojování materiálu o velkých tloušťkách od 10 do 80 mm.

#### 2.4.6 Odporové bodové svařování [24]

Do značné míry je tato metoda stále rozšířená a vhodná pro svařování tenkých korozivzdorných ocelových plechů. Princip metody je založen na tavení odporem v důsledku průchodu elektrického proudu materiálem. Proces je zobrazen na obr. 28 a skládá se z pěti kroků. První krok je sestavení plechu do polohy před svařováním. Dalším krokem je přitlačení horní elektrody. Svařuje se nízkonapěťovým střídavým proudem. Čtvrtou fází je udržování přitlačné síly nebo použití dodatečné pěchovací síly. Posledním krokem je oddálení elektrody před dalším cyklem.

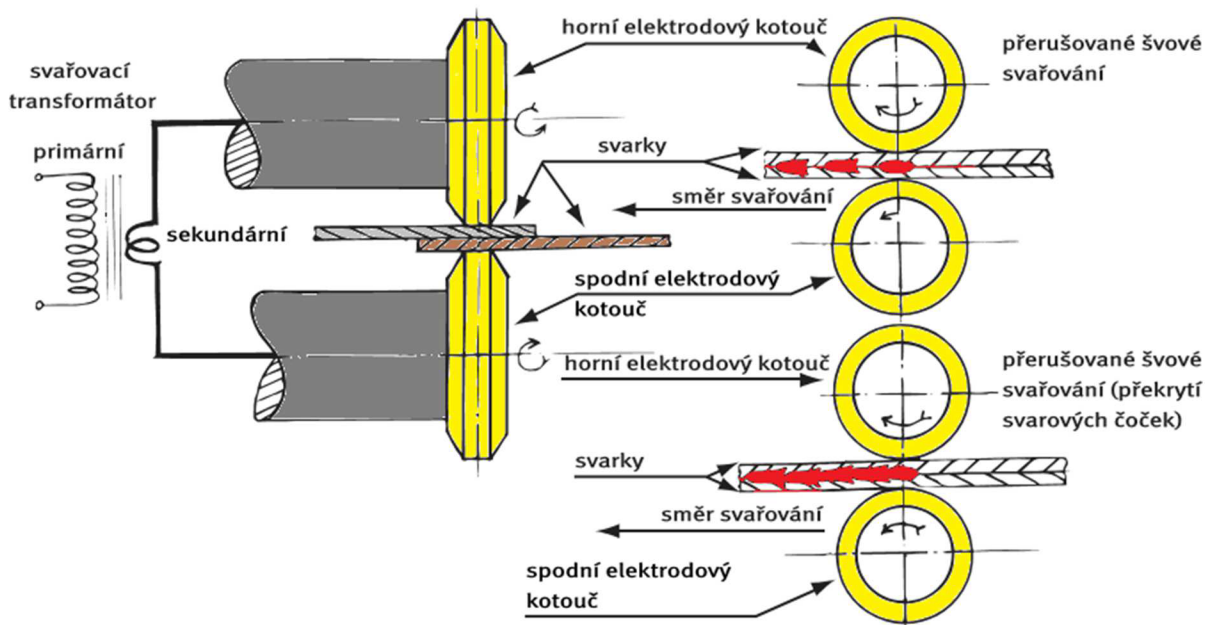
Nízký odpor a vysoká mechanická pevnost u korozivzdorných ocelí se získá z elektrod složených se slitin mědi, kobaltu a beryllia. Parametry jako tloušťka plechu, průměr hrotu elektrody, přitlačná síla, svařovací proud a doba svařování musí být optimalizované v souvislosti se stavem daného povrchu. Zda se jedná o mořený, lesklý nebo žíhaný povrch má obrovský vliv na odpor stykové plochy, která hraje roli při tvorbě čochek. Nevýhodou odporového svařování je že tavná lázeň nemůže být řízená vizuálně. Kvalitu bodového sváru ověříme destruktivní metodou, kdy se od sebe svařené plechy odlupují a svarové čochky mají tendenci zůstat na jednom nebo druhém plechu.



Obr. 28 Princip odporového bodového svařování [24]

#### 2.4.7 Švové odporové svařování [24]

Švové svařování pracuje na podobném principu jako bodové, avšak tenhle proces je bez přerušení. Další rozdíl je v typu elektrod, v tomhle případě se jedná o dva kotouče ze slitiny mědi s hnacím systémem. Okraje kotoučů mají obvykle úkoso nebo vydutý profil. Důležitými parametry jsou svařovací proud, doba ohřevu, čas udržování a také doplňující faktory jako pulzní proud a rychlost svařování. Hlavními výhodami je ohřev odporem, který neovlivňuje změny mikrostruktury v oblastech ovlivněných teplem, nedochází k oxidaci za podmínek, že jsou plechy ochlazovány a je dosažena nízká deformace plechů po svařování. Na obr. 29 je znázorněn princip švového odporového svařování.



Obr. 29 Princip odporového švového svařování [24]

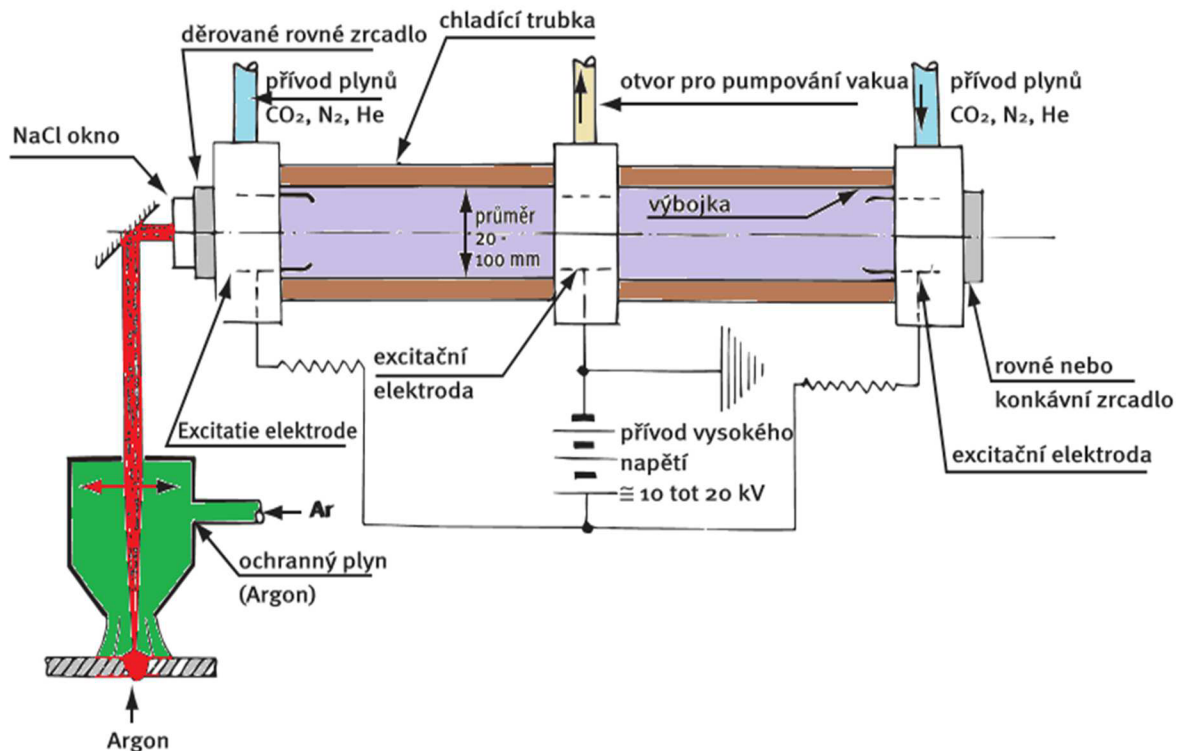
## 2.4.8 Laserové svařování [24], [29]

Použití laserového paprsku jako bezkontaktní a velice intenzivní zdroj svařovacího proudu si našlo rychle své uplatnění. Na obr. 30 je zobrazen princip CO<sub>2</sub> laserového svařování. Výhodou při svařování laserem je, že ovlivňuje velice malou oblast. Při efektivním využití svařovacího výkonu je důležité dbát na to, že výkon závisí hodně na odraznosti materiálu a vlnové délce. Nejvíce používané zdroje pro laserové svařování jsou CO<sub>2</sub> plynové lasery a YAG lasery, které se preferují u svařování tenkých korozivzdorných plechů (do 1,5 mm). Naopak CO<sub>2</sub> mají své využití a jsou lépe přizpůsobené pro svařování tlustších plechů a pásů (od 1,5 až do 6 mm).

Tab. 7 Výhody laserového svařování [29].

| Přednosti metody laserového svařování korozivzdorných ocelí: |
|--|
| + svařování bez přídavného materiálu                         |
| + vysoká přesnost a kvalita zpracování                       |
| + minimální následná deformace svařence                      |
| + svařitelnost různých materiálů vzájemně                    |
| + možnost automatizace svařovacího procesu                   |
| + tichý a čistý provoz                                       |

Rychlost svařování u této metody výrazně ovlivňuje šířku i hloubku svaru. Pokud rychlost svařování je vysoká, snižuje se hloubka provaření a také šířka svaru. Při pomalé rychlosti dochází k velkému ohřevu materiálu a zvětšení tepelně ovlivněné oblasti svaru. Vysoká rychlost má výhody v menším vneseném teple do svaru a menší šířce spoje.



Obr. 30 Princip Co<sub>2</sub> laseru [24]

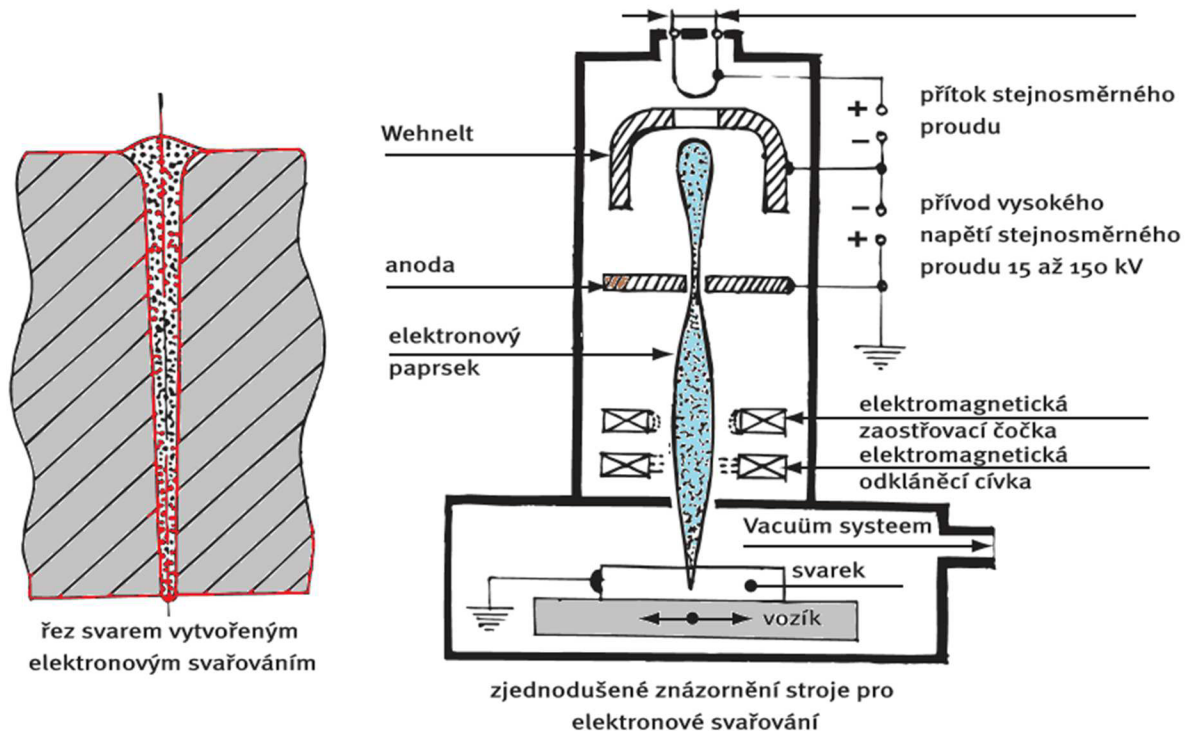


### 2.4.9 Svařování elektronovým paprskem [24]

Princip elektronového svařování využívá energii vysoké rychlosti paprsků elektronů, které dopadají na základní materiál. Do materiálu se díky vysoké energii svazku taví spára a pronikající sváry mohou vznikat při rychlosti 20 m/min.

Táto metoda svařování může vytvářet hluboké a tenké sváry v poměru 20:1 s úzkou tepelně ovlivněnou oblastí. Povaha tepelného zdroje je velice příznivá pro proces svařování korozivzdorných ocelí. Snadné řízení výkonu a stejný stroj může být použit pro svařování ocelí o tloušťce od 0,5 mm do 40 mm. Na obr. 31 je znázorněn princip elektronového svařování.

Pomocí optiky je možné sledovat svářecí proces a lze korigovat paprsek pomocí magnetických čoček, které můžou vychýlit, vzdálit, nebo zvětšit paprsek elektronů. Je možnost použití další čočky, která bude umístěna též v optice svářečky. Ta by měla za úkol skenování svařovaného povrchu. Do optiky je možno instalovat i sledovací zařízení, pomocí kterého můžeme přímo sledovat celý proces. Na základě pozorování lze změnit vstupní data pro svařování, pokud by docházelo k defektu na svařovaném povrchu.



Obr. 31 Princip elektronového svařování [24]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ NAVAŘOVÁNÍ STELLITEM NA OCEL 1.4122

Cílem experimentu bylo navařování tří druhů kobaltových slitin typu Stellite na korozivzdorná ocel 1.4122 při různých teplotách předehřevu. Byly provedeny zkušební návary s ohledem na získání optimálních vlastností a následné vyhodnocení návarů.

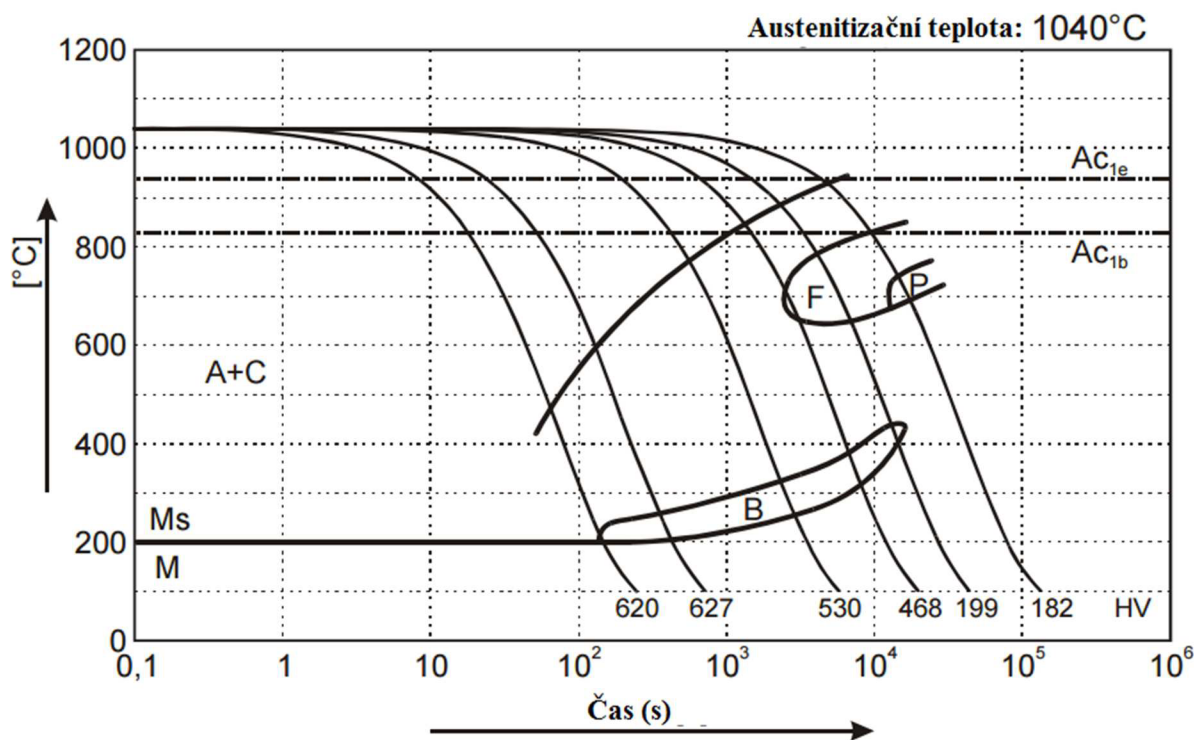
#### 3.1 Základní materiál [30], [31], [32]

Jako základní materiál je dle zadání použita chromová martenzitická korozivzdorná ocel s přídavkem molybdenu X39CrMo17-1 označována také jako 1.4122. Typické oblasti použití této ocele jsou nástroje pro objemové tváření za studena, strojní nože, nože na papír, ruční nože, řezné nástroje (tvarové nože a frézy), speciální výstružníky, protahovací trny. Velké zastoupení má v oblasti zpracování plastů, kde se z oceli 1.4122 vyrábí formy, šneky, extrudéry. Chemické složení je uvedeno v tab. 8 a základní vlastnosti v tab. 9.

Tab. 8 Složení základního materiálu X39CrMo17-1 v % [31].

| C         | Cr        | Mo       | Mn  | Si | Ni | P    | S    |
|-----------|-----------|----------|-----|----|----|------|------|
| 0,33-0,45 | 15,5-17,5 | 0,80-1,3 | 1,5 | 1  | 1  | 0,04 | 0,03 |

S obsahem maximálně 17,5 hm % Cr se vyznačuje vyšší korozní odolností jako u ocele s obsahem 13 hm % Cr. Dobrá odolnost vůči korozi je především v mírně agresivním prostředí s nízkou koncentrací chloridových iontů. Není vhodná především v prostředí mořské vody, pokud není v katodické ochraně. Optimální korozní odolnost lze docílit, je-li povrch jemně broušen nebo leštěn. Na obr. 32 je zobrazený diagram anizotermického rozpadu austenitu v oceli 1.4122.



Obr. 32 ARA diagram oceli 1.4122 [32]

Ocel 1.4122 může být tepelně zpracována žháním naměkko, při ohřátí a výdrži na teplotě mezi 750 °C až 800 °C. Následně je ocel pomalu ochlazována na vzduchu nebo v peci. Tato třída oceli není obvykle svařována, ale pokud je svařována, je třeba předem zahřát ocel na teplotu v rozmezí 300 °C - 400 °C.

Tab. 9 Mechanické vlastnosti základního materiálu X39CrMo17-1 [31].

| Rm (Mpa) | R (Mpa) | KV (J)      | A (%) | Tvrdość dle Brinella (HB) |
|----------|---------|-------------|-------|---------------------------|
| 750-950  | 550     | +20 (14-20) | 12    | 280                       |

### 3.2 Volba přídavného materiálu [33]

Jako přídavný materiál byly zvoleny tři druhy kobaltových elektrod typu Stellite 6, Stellite 21, Stellite 25. Chemické složení kobaltových slitin více druhů a jejich výsledné dosažené tvrdosti jsou uvedeny v tab. 10.

Tab. 10 Tvrdość a chemické složení kobaltových elektrod typu Stellite [33].

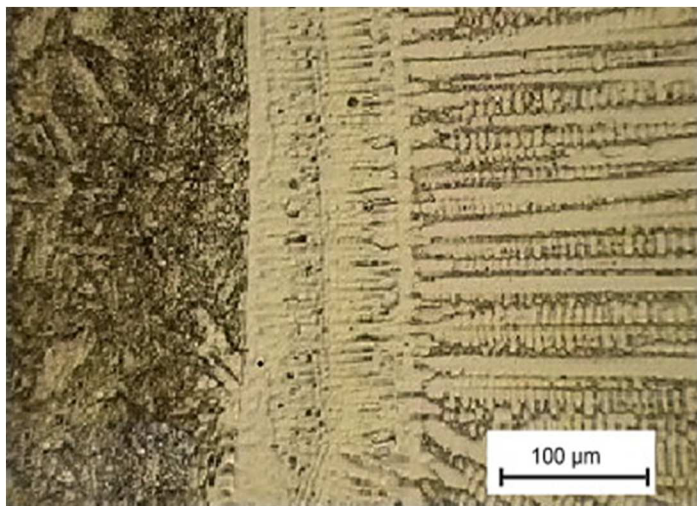
| Kobaltové slitiny | Chemická analýza neřaděného svařovacího kovu v % |    |    |         |       |       |       |       |       | Tvrdość (HRC) |
|-------------------|--|----|----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|                   | Co   | Cr | W  | C       | Ni    | Mo    | Fe    | Si    | Další |               |
| Stellite 1        | Bal.   | 31 | 12 | 2.45    | < 3.0 | < 1.0 | < 3.0 | < 2.0 | < 1.0 | 51-56         |
| Stellite 6        | Bal.   | 29 | 4  | 1.2     | < 3.0 | < 1.0 | < 3.0 | < 2.0 | < 1.0 | 39-43         |
| Stellite 12       | Bal.   | 30 | 8  | 1.4-1.8 | < 3.0 | < 1.0 | < 3.0 | < 2.0 | < 1.0 | 45-50         |
| Stellite 20       | Bal.   | 32 | 16 | 2.45    | < 3.0 | < 1.0 | < 3.0 | < 2.0 | < 1.0 | 53-57         |
| Stellite 21       | Bal.   | 28 | -  | 0.25    | 3     | 5.5   | < 3.0 | < 1.5 | < 1.0 | 28-40         |
| Stellite 25       | Bal.   | 20 | 14 | 0.1     | 10    | < 1.0 | < 3.0 | < 1.0 | < 1.0 | 20-43         |
| Stellite 250      | Bal.   | 28 | -  | 0.1     | -     | -     | 21    | < 1.0 | < 1.0 | 20-28         |
| Stellite 306      | Bal.   | 24 | 3  | 0.5     | 6     | -     | 4     | 1     | 6% Nb | 32-42         |
| Stellite 706      | Bal.   | 30 | -  | 1.2     | < 3.0 | 4     | < 3.0 | < 1.0 | < 1.0 | 39-44         |
| Stellite 712      | Bal.   | 30 | -  | 1.5-1.9 | < 3.0 | 8     | < 3.0 | < 2.0 | < 1.0 | 46-51         |
| ULTIMET           | Bal.   | 26 | 2  | 0.06    | 9     | 5     | 3     | -     | < 1.0 | 28-45         |

Prvním přídavným materiálem je Stellite 25. Táto slitina je také odolná vůči opotřebení a korozi, jako všechny slitiny na bázi kobaltu za vysokých pracovních teplot. Stellite 25 se vyznačuje dobrou odolností vůči oxidaci, nauhličení, tepelné degradaci a povrchové únavě. Slitina je odolná v prostředí chlóru, kyseliny dusičné a kyseliny chlorovodíkové. Výjimečná odolnost vůči opotřebení je způsobená především v unikátních přirozených vlastnostech fáze pevných karbidů. V tab. 11 jsou uvedeny základní mechanické vlastnosti Stellite 25.

Tab. 11 Mechanické vlastnosti Stellite 25 [33].

| Nominální mechanické vlast. při pokojové teplotě |     |     |                 |     |     |
|--|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| Mez pevnosti v tahu Rm                           | 925 | Mpa | Prodloužení A   | 5   | %   |
| Mez kluzu Rp (0,2%)                              | 895 | Mpa | Modul pružnosti | 207 | Gpa |

Stellite 6 je slitina na bázi kobaltu, která se skládá z komplexních karbidů. Na obr. 33 je zobrazená mikrostruktura přídatného materiálu. Stellite 6 se vyznačuje odolností vůči opotřebení, otěru a korozi při vysokých teplotách. Využití těchto vlastností je zejména při svařování ventilů, výfukových potrubí. Stellite 6 je nejrozšířenější ze slitin odolných vůči



Obr. 33 Mikrostruktura Stellitu 6 [35]

opotřebení a vykazuje dobré všestranné vlastnosti. Základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 12. Má vynikající odolnost vůči mnoha formám mechanické a chemická degradace v širokém rozsahu teplot a zachovává rozumný stupeň tvrdosti až do 500 °C. Další vlastností je také dobrá odolnost vůči nárazu a kavitační erozi. Typický elektroodvodový potenciál v mořské vodě je při pokojové teplotě -0.25V, stejně jako u nerezových ocelí. U koroze se především projevuje důlkový mechanismus.

Tab. 12 Mechanické vlastnosti stellitu 6 [33].

| Nominální mechanické vlast. při pokojové teplotě |      |     |                 |     |     |
|--|------|-----|-----------------|-----|-----|
| Mez pevnosti v tahu Rm                           | 1265 | Mpa | Prodloužení A   | 3-5 | %   |
| Mez kluzu Rp (0,2%)                              | 750  | Mpa | Modul pružnosti | 237 | Gpa |



Obr. 34 Mikrostruktura Stellitu 21 [33]

Další slitinou je Stellite 21. Mnohé z těchto slitin se v současné době používají v medicíně. Stellite 21 zobrazen na obr. 34 se skládá z Co-Cr-Mo slitiny obsahující rozptýlené tvrdé karbidy, které posilují slitinu a zvyšují její tvrdost, ale také snižuje svou tažnost. Typ, tvar a velikost karbidů je silně ovlivněny zpracováním slitiny. Z tohoto důvodu mechanické vlastnosti Stellitu 21 jsou velmi závislé na výrobním procesu a následném tepelném zpracování. V tab. 13 jsou

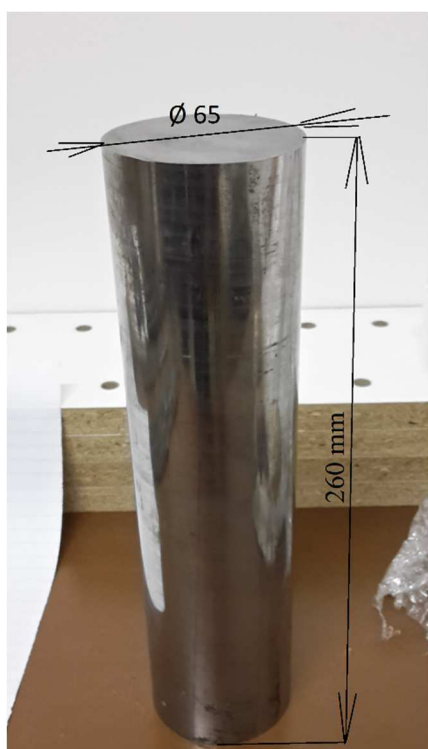
uvedené základní mechanické vlastnosti. Má vynikající kavitační vlastnosti, odolnost proti opotřebení, ale naopak má nízkou odolnost vůči otěru. Stellite 21 má vynikající odolnost vůči tepelným a mechanickým nárazům, využití např. renovace kovových zápusťek. Optimální teplota a vysoká pevnost se získá při tepelném ošetření při 1200 °C - 1240 °C a následným ochlazením a stárnutím v teplotním rozsahu od 700 °C - 1150 °C. Doporučuje se pro aplikace zahrnující kavitační erozi, korozi nebo práci při vysokých teplotách, jako například ventily pro petrochemii a na generátorech elektřiny. Stellite 21 může ztvrdnout až na hodnotu 550HV (48HRC).

Stellite 21 je odolný vůči oxidaci kvůli obsahujícímu molybdenu. Má vyšší korozní odolnost v komplexním prostředí (např. kyselina sírová, chlorovodíková) než Co-Cr-W slitina, jako je Stellite 6. Typický Po elektroodový potenciál v mořské vodě při pokojové teplotě je cca. -0,3 V. U koroze se především projevuje důlkový mechanismus.

Tab. 13 Mechanické vlastnosti Stellite 21 [33].

| Nominální mechanické vlast. při pokojové teplotě |      |     |                 |     |     |
|--|------|-----|-----------------|-----|-----|
| Mez pevnosti v tahu Rm                           | 1000 | Mpa | Prodloužení A   | 20  | %   |
| Mez kluzu Rp (0,2%)                              | 650  | Mpa | Modul pružnosti | 245 | Gpa |

### 3.2 Experiment [34]



Obr. 35 Vzorek základního materiálu

Na provedeném experimentu byly připraveny čtyři vzorky dle obr. 35. Vzorky byly nařezané pomocí pásové pily ze základního materiálu na délku 260 mm o průměru 65 mm. Materiálový list s chemickým složením korozivzdorní martenzitické oceli 1.4122 se nachází v příloze č. 1.

Všechny čtyři vzorky byly navařeny na zvolený materiál elektrodami o průměru 1,2 mm.

Samotné svařování bylo provedené na svařovací sestavě od firmy Fronius (na obr. 36) se svařovacím zdrojem TransPlusSynergic 4000 a pojezdovou jednotkou Fronius Automation - FTV 20.

Parametry svařovacího zdroje jsou uvedené v tab. 14. Svařování bylo provedeno metodou MAG – svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu.

Ochranným plynem byl zvolen Stargon C18 (82% Argónu a 18% CO<sub>2</sub>). Výše uvedená směs ochranného plynu zvyšuje produktivitu svařování a umožní snížení rozstříku a tvorbu zplodin.

Tab. 14 Technické parametry svařovacího zdroje TPS 4000 [34].

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Svařovací zdroj           | TransPlusSyn. 4000 |
| Síťové napětí 50/60 Hz    | 3x 400 V           |
| Tolerance síťového napětí | ± 15 %             |
| Účinnost                  | 88%                |
| Cos φ                     | 0,99               |
| Rozsah proudu MIG/ MAG    | 3- 400 A           |
| Napětí na prázdko         | 68 -78 V           |
| Pracovní napětí           | 14,2 - 34,0 V      |
| Chlazení                  | AF                 |
| Hmotnost                  | 35,2 kg            |
| Rozměry mm d x š x v      | 625 x 290 x475     |



*Obr. 36 Svařovací zařízení Fronius*

Nastavení parametru svařování pro metodu MAG jsme provedli na prvním vzorku materiálu 1.4122. Postupně jsme dle zkušeností operátora nastavovali různé hodnoty proudu a napětí. Měnil se směr svařování vpřed nebo vzad, a také přenos. Následně se vizuálně vyhodnotily návary a vybrala se nejlepší varianta. Rychlost svařování byla v tomhle případě nastavená na 48 cm/ min (8 m/s). Přenos kovu byl zvolen vzhledem k svařovacímu proudu impulzní.

Zbylé tři kusy byly předehřívány v peci dle obr. 37 na požadované teploty předehřevu. Doporučená teplota předehřevu pro danou martenzitickou ocel 1.4122 je v rozmezí od 300 °C do 400 °C. Pro daný experiment byly však zvoleny různé teploty předehřevu postupně 180 °C, 250 °C a 300 °C. Teplota základního materiálu v peci byla kontrolována pomocí dotykového teploměru TESTO 925.



*Obr. 37 Předehřívání základního materiálu*



*Obr. 38 Navařování housenky Stellitu*



*Obr. 39 Měření teploty po navaření housenky*



*Obr. 40 Ohřev na teplotu předehřevu*

Z pece se postupně při dosažení teploty předehřevu zvolené dle experimentu, vybíraly kusy pro navařování. Pokaždé byl vybrán jenom jeden vzorek. Zbylé dva vzorky se nechali v peci, aby se ohřály na vyšší požadovanou teplotu předehřevu.

Na každý vzorek z korozivzdorní ocele 1.4122 byly po obvodu navařovány dle obr. 38 tři druhy přídatného materiálu typu Stellite 6, 21 a 25. Pokaždé byly navařené tři housenky přídatného materiálu těsně vedle sebe. Housenky se částečně překrývaly. Při navaření housenky se do základního materiálu vneslo teplo  $Q$ . Teplota ovlivněné oblasti vzrostla, a proto se muselo čekat, pokud teplota neklesne na požadovanou teplotu předehřevu. Teplota se měřila dotykovým teploměrem dle obr. 39. Když teplota dosáhla danou hodnotu, směl se provést návar další housenky. Tenhle postup se aplikoval u všech provedených návarů.

V mnoha případech, kdy se měnil svařovací drát, základní materiál se dostal pod teplotu předehřevu. Zde se řešil problém pomocí ohřevu kyslíko-acetylenovým plamenem dle obr. 40. V následujících kapitolách budou uvedené v tabulkách hodnoty proudu a napětí, které byly vygenerované svařovacím zdrojem při svařování housenek.

V tabulce č. 15 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 1 skládající se z housenek č. 1, 2, 3 při teplotě předehřevu 180 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 6. Na obr. 41 je fotografie části 1. svaru.



Obr. 41 Návar č. 1

Tab. 15 Parametry návaru č. 1.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídatný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 1        | 1           | Stellite 6        | 127                   | 23,6                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 1        | 2           | Stellite 6        | 129                   | 23,8                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 1        | 3           | Stellite 6        | 126                   | 23,4                   | impulzní    | 180 °C             |

V tabulce č. 16 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 2 skládající se z housenek č. 4, 5, 6 při teplotě předehřevu 180 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 25. Na obr. 42 je fotografie části 2. svaru.

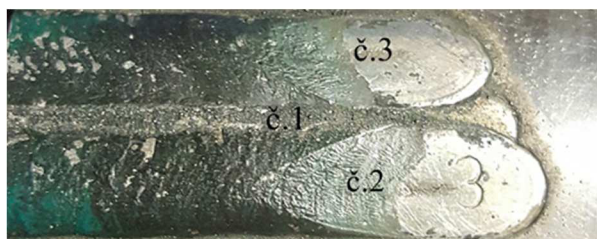


Obr. 41 Návar č. 2

Tab. 16 Parametry návaru č. 2.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídatný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 2        | 4           | Stellite 25       | 148                   | 24,7                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 2        | 5           | Stellite 25       | 150                   | 25,1                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 2        | 6           | Stellite 25       | 155                   | 25,3                   | impulzní    | 180 °C             |

V tabulce č. 17 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 3 skládající se z housenek č. 7, 8, 9 při teplotě předehřevu 180 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 21. Na obr. 43 je fotografie části 3. svaru.



Obr. 43 Návar č. 3

Tab. 17 Parametry návaru č. 3.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídatný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 3        | 7           | Stellite 21       | 179,2                 | 24,4                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 3        | 8           | Stellite 21       | 183,2                 | 23,6                   | impulzní    | 180 °C             |
| 1.4122            | 3        | 9           | Stellite 21       | 178,2                 | 24,1                   | impulzní    | 180 °C             |



První tři návary byly provedeny na vzorku č. 1 se stejnou teplotou předehřevu. Další tři návary byly provedeny na vzorku č. 2, kde teplota předehřevu byla 250 °C. V tabulce č. 18 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 4 skládající se z housenek č. 1, 2, 3 při teplotě předehřevu 250 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 25. Na obr. 44 je fotografie části 4. svaru.

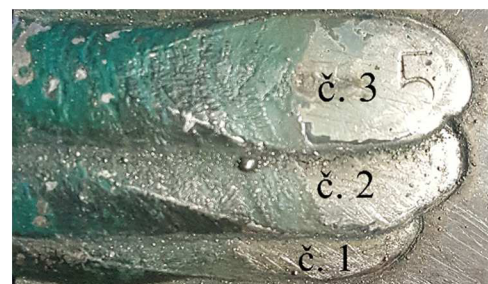


Obr. 44 Návar č. 4

Tab. 18 Parametry návaru č. 4.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídavný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 4        | 1           | Stellite 25       | 158                   | 25,3                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 4        | 2           | Stellite 25       | 155                   | 23,5                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 4        | 3           | Stellite 25       | 160                   | 25,7                   | impulzní    | 250 °C             |

V tabulce č. 19 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 5 skládající se z housenek č. 4, 5, 6 při teplotě předehřevu 250 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 21. Na obr. 45 je fotografie části 5. svaru.

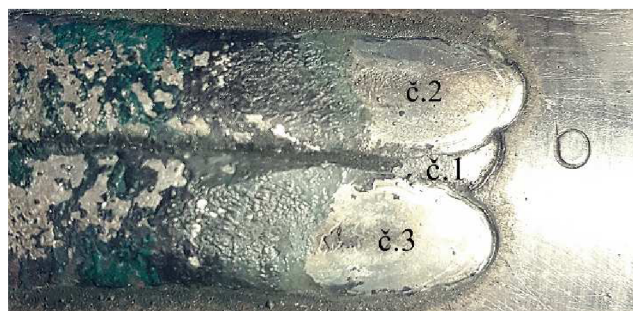


Obr. 45 Návar č. 5

Tab. 19 Parametry návaru č. 5.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídavný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 5        | 4           | Stellite 21       | 167                   | 24,5                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 5        | 5           | Stellite 21       | 170                   | 24,7                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 5        | 6           | Stellite 21       | 173                   | 25,2                   | impulzní    | 250 °C             |

V tabulce č. 20 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 6 skládající se z housenek č. 7, 8, 9 při teplotě předehřevu 250 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 6. Na obr. 46 je fotografie části 6. svaru.

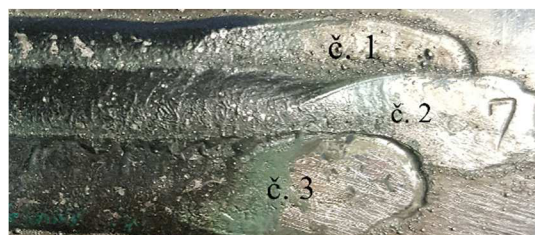


Obr. 46 Návar č. 6

Tab. 20 Parametry návaru č. 6.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídavný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 6        | 7           | Stellite 6        | 161                   | 24,3                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 6        | 8           | Stellite 6        | 167                   | 24,8                   | impulzní    | 250 °C             |
| 1.4122            | 6        | 9           | Stellite 6        | 168                   | 24,6                   | impulzní    | 250 °C             |

Poslední vzorek č. 3, byl vybrán z pece při teplotě předehřevu 300 °C. V tabulce č. 21 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 7 skládající se z housenek č. 1, 2, 3 při teplotě předehřevu 300 °C. Na základní materiál byl navařený přídavný materiál typu Stellite 25. Na obr. 47 je fotografie části 7. svaru.

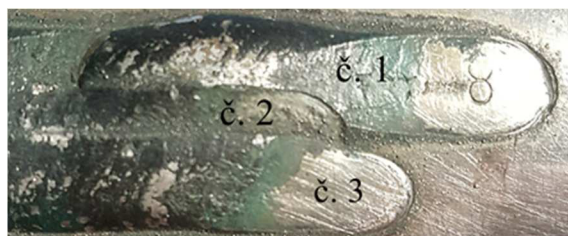


Obr. 47 Návar č. 7

Tab. 21 Parametry návaru č. 7.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídavný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 7        | 1           | Stellite 25       | 169                   | 24,8                   | impulzní    | 300 °C             |
| 1.4122            | 7        | 2           | Stellite 25       | 170                   | 25,1                   | impulzní    | 300 °C             |
| 1.4122            | 7        | 3           | Stellite 25       | 172                   | 25,8                   | impulzní    | 300 °C             |

V tabulce č. 22 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 8 skládající se z housenek č. 4, 5, 6 při teplotě předehřevu 300 °C. Na základní materiál byl navařený přídavný materiál typu Stellite 21. Na obr. 48 je fotografie části 8. svaru.



Obr. 48 Návar č. 8

Tab. 22 Parametry návaru č. 8.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídavný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota předehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|--------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                    |
| 1.4122            | 8        | 4           | Stellite 21       | 173                   | 24,9                   | impulzní    | 300 °C             |
| 1.4122            | 8        | 5           | Stellite 21       | 177                   | 24,9                   | impulzní    | 300 °C             |
| 1.4122            | 8        | 6           | Stellite 21       | 172                   | 24,7                   | impulzní    | 300 °C             |

V tabulce č. 23 jsou uvedené hlavní parametry návaru č. 9 skládající se z housenek č. 7, 8, 9 při teplotě přehřevu 300 °C. Na základní materiál byl navařený přídatný materiál typu Stellite 6. Na obr. 49 je fotografie části 9. svaru.



Obr. 49 Návar č. 9

Tab. 23 Parametry návaru č. 9.

| Základní materiál | Návar č. | Housenka č. | Přídatný materiál | Skutečné hodnoty      |                        | Typ přenosu | Teplota přehřevu |
|-------------------|----------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------|------------------|
|                   |          |             |                   | Svařovací proud I [A] | Svařovací napětí U [V] |             |                  |
| 1.4122            | 9        | 7           | Stellite 6        | 178                   | 24,3                   | impulzní    | 300 °C           |
| 1.4122            | 9        | 8           | Stellite 6        | 173                   | 24,9                   | impulzní    | 300 °C           |
| 1.4122            | 9        | 9           | Stellite 6        | 171                   | 24,9                   | impulzní    | 300 °C           |

Jednou ze zkoumaných hodnot bylo dodané teplo do oblouku  $Q_s$ . Specifické vnesené teplo do oblouku závisí především na příkonu dodaném zdrojem a rychlosti svařování. Je to teplo spotřebované na jeden milimetr svaru. Velkost vneseného tepla lze určit výpočtem dle vztahu:

$$Q_s = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v_s \cdot 1000} \quad [\text{kJ/mm}] \quad (5.1)$$

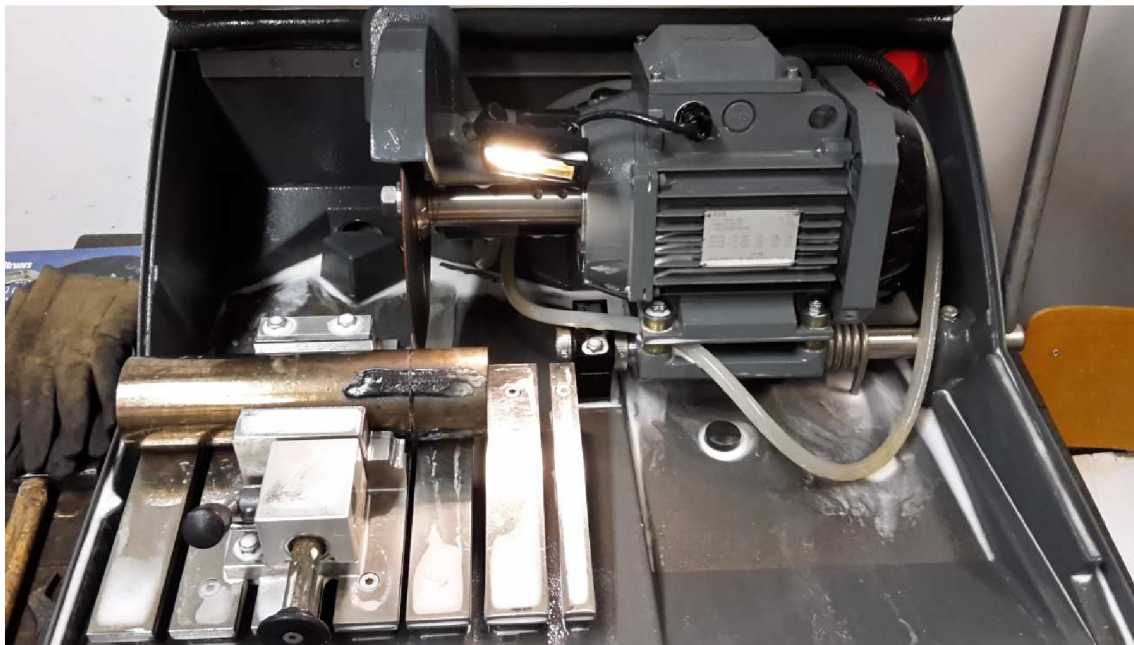
kde:  $Q_s$  [kJ/mm] specifické teplo vnesené do oblouku  
 $U$  [V] svařovací napětí  
 $\eta$  [-] účinnost přenosu tepla  
 $I$  [A] svařovací proud  
 $v_s$  [mm.s<sup>-1</sup>] rychlost svařování

Pro každý návar byl proveden výpočet dodaného tepla do oblouku z průměrných hodnot parametrů tří navařených housenek. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 24.

Tab. 24 Výsledné hodnoty dodaného tepla do oblouku.

| Navařovací rychlost 48 cm/min (8 m/s) |       |        |        |        |        |       |        |        |       |
|---------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Návar č.                              | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6     | 7      | 8      | 9     |
| Příd. materiál                        | St. 6 | St. 25 | St. 21 | St. 25 | St. 21 | St. 6 | St. 25 | St. 21 | St. 6 |
| $\eta$ [-]                            | 0,8   | 0,8    | 0,8    | 0,8    | 0,8    | 0,8   | 0,8    | 0,8    | 0,8   |
| $I$ [A]                               | 127   | 144    | 186    | 156    | 170    | 165   | 170    | 174    | 174   |
| $U$ [V]                               | 23,6  | 24,6   | 24     | 24,8   | 24,8   | 24,5  | 25,2   | 24,8   | 24,7  |
| $Q_s$ [kJ/mm]                         | 0,300 | 0,354  | 0,446  | 0,387  | 0,422  | 0,404 | 0,428  | 0,432  | 0,430 |

Po navaření všech návarů se všechny tři vzorky vložily do vypnuté pece, kde se nechaly vychladnout. Pro další vyhodnocení jednotlivých vzorků bylo potřeba připravit vzorky pro měření tvrdosti a vyhodnocení makrostruktury. Vzorky pro makrostrukturu a vyhodnocení tvrdosti byly nařezány na ruční pile Struers Labotom-5 zobrazenou na obr. 41. Byl použit řezný kotouč pro tvrdé materiály Struers 54A25 250 x 1,5 x 32 mm.



*Obr. 50 Ruční rozbrušovací pila Struers Labotom-5*

Broušení a leštění vzorků bylo prováděno na dvoukotoučové brusce a leštičce Saphir 330 na obr. 42. Pro odstranění stop po řezání ruční pilou byl použit brousící papír s různou zrnitostí. Při práci se na povrch disku přilévala voda. Vzorky byly opláchnuty vodou a stříčkou opláchnuty lihem. U vzorků, určených ke zkoumání makrostruktury a tvrdosti, bylo k zviditelnění struktury chemickým leptáním, použito leptadlo Marble, směs kyseliny chlorovodíkové, líhu a síranu měďnatého.



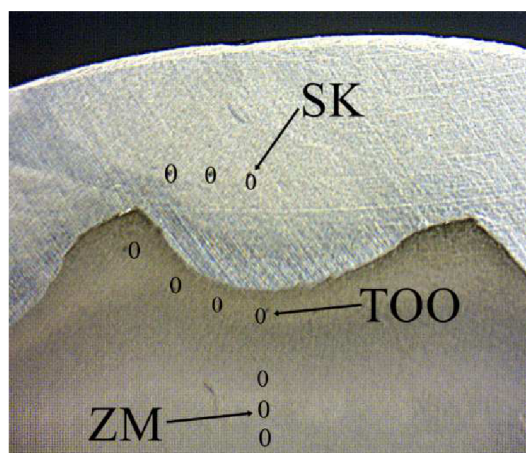
*Obr. 51 Dvoukotoučová bruska a leštička Saphir*

Na obr. 43 jsou zobrazené vzorky pro zkoumání makrostruktury a měření tvrdosti dle Vickerse.



*Obr. 52 Vzorky po leštění a naleptání*

Vyhodnocená tvrdost byla měřena na Ústavu strojírenské technologie na VUT v Brně na Vickersově tvrdoměru Zwick 3212, který je schopen měřit tvrdost v rozmezí HV0,2 až HV30. Hlavním účelem zkoušky je stanovit maximální tvrdost v jednotlivých pásmech svarového spoje. Tvrdost byla měřena na vzorcích z makrostruktury a měřila se pomocí HV10 v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a návaru. Na obr. 53 je grafické znázornění míst vpichu při měření tvrdosti. V tab. 25 jsou uvedeny naměřené hodnoty tvrdosti u prvního vzorku. Na obr. 54 je graf naměřených hodnot tvrdosti vzorku č. 1.

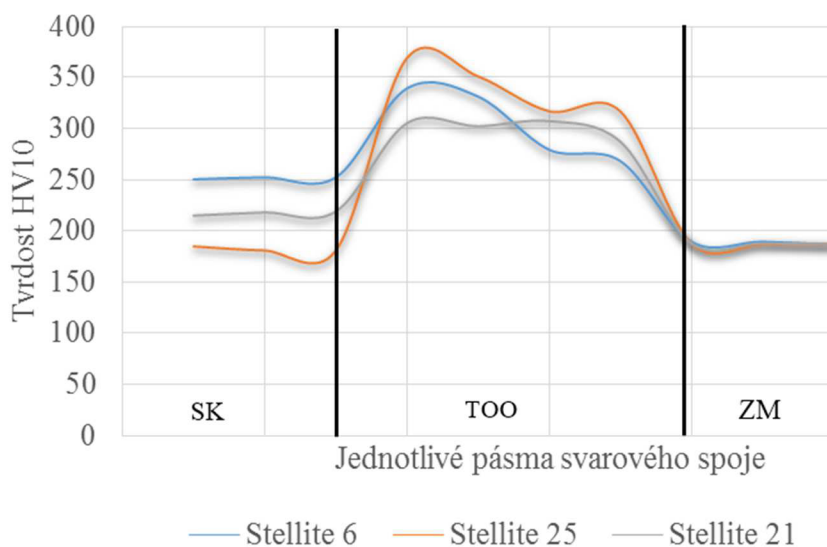


Obr. 53 Měření tvrdosti

Tab. 25 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 1.

| Tvrdost na příčném řezu vzorku č.1 |         |                           |             |             |
|------------------------------------|---------|---------------------------|-------------|-------------|
| HV 10                              |         | Teplota předhřevu 180 ° C |             |             |
| Přid. mat.                         |         | Stellite 6                | Stellite 25 | Stellite 21 |
| sds                                | Měř. č. | 1                         | 2           | 3           |
| <b>SK</b>                          | 1       | 250                       | 185         | 215         |
|                                    | 2       | 252                       | 181         | 218         |
|                                    | 3       | 252                       | 181         | 219         |
| <b>TOO</b>                         | 4       | 339                       | 369         | 305         |
|                                    | 5       | 331                       | 351         | 302         |
|                                    | 6       | 279                       | 317         | 307         |
|                                    | 7       | 268                       | 317         | 287         |
| <b>ZM</b>                          | 8       | 189                       | 188         | 188         |
|                                    | 9       | 189                       | 187         | 188         |
|                                    | 10      | 186                       | 187         | 187         |

Vzorek č. 1 předehřev na 180 °C

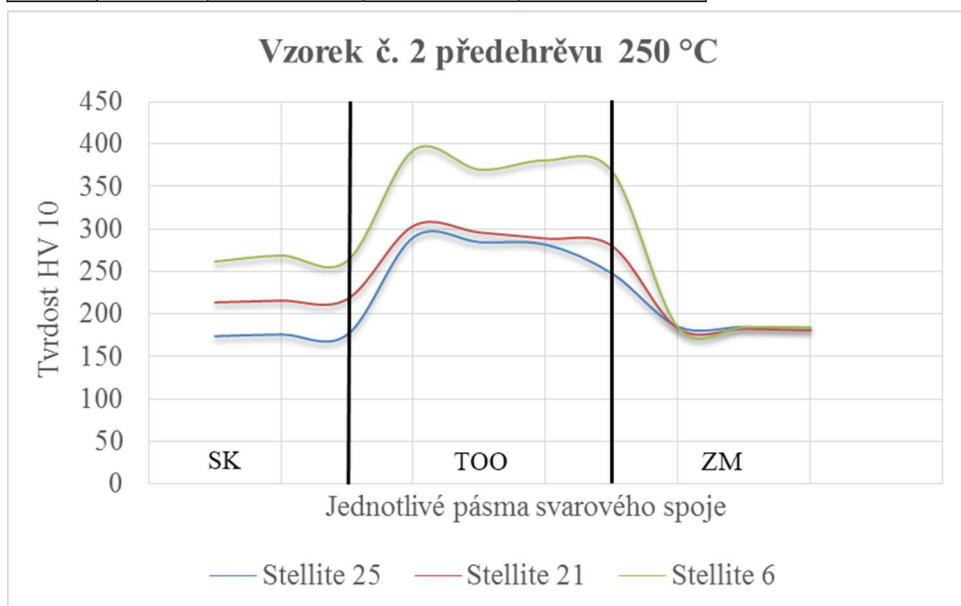


Obr. 54 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 1

V tab. 26 jsou uvedeny naměřené hodnoty tvrdosti vzorku č. 2. Na obr. 55 je graf naměřených hodnot tvrdosti HV 10 v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a v svarovém kovu.

Tab. 26 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 2.

| Tvrdost na příčném řezu vzorku č.2 |         |                           |             |            |
|------------------------------------|---------|---------------------------|-------------|------------|
| HV 10                              |         | Teplota předhřevu 250 ° C |             |            |
| Přid. mat.                         |         | Stellite 25               | Stellite 21 | Stellite 6 |
|                                    | Měř. č. | 4                         | 5           | 6          |
| <b>SK</b>                          | 1       | 174                       | 214         | 262        |
|                                    | 2       | 176                       | 216         | 269        |
|                                    | 3       | 176                       | 218         | 263        |
| <b>TOO</b>                         | 4       | 291                       | 304         | 393        |
|                                    | 5       | 285                       | 296         | 370        |
|                                    | 6       | 282                       | 289         | 381        |
|                                    | 7       | 248                       | 280         | 368        |
| <b>ZM</b>                          | 8       | 185                       | 183         | 184        |
|                                    | 9       | 185                       | 183         | 185        |
|                                    | 10      | 184                       | 181         | 184        |

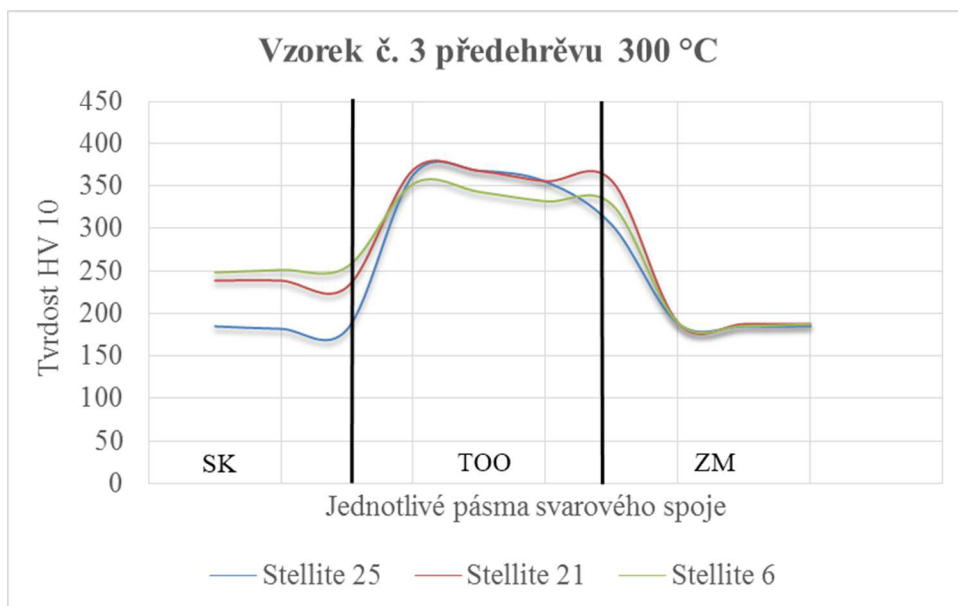


Obr. 55 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 2

V tab. 27 jsou uvedeny naměřené hodnoty tvrdosti u vzorku č. 3. Na obr. 56 je graf naměřených hodnot tvrdosti HV 10 v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a ve svarovém kovu.

Tab. 27 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 3

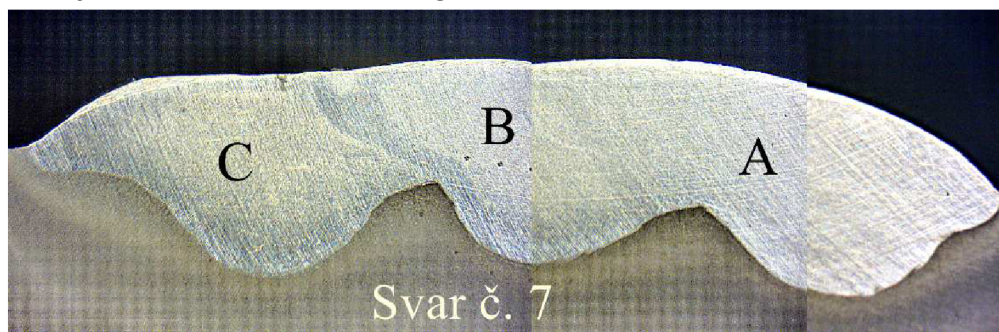
| Tvrdost na příčném řezu vzorku č.3 |         |                           |             |            |
|------------------------------------|---------|---------------------------|-------------|------------|
| HV 10                              |         | Teplota předhřevu 300 ° C |             |            |
| Přid. mat.                         |         | Stellite 25               | Stellite 21 | Stellite 6 |
|                                    | Měř. č. | 7                         | 8           | 9          |
| <b>SK</b>                          | 1       | 185                       | 238         | 248        |
|                                    | 2       | 182                       | 238         | 251        |
|                                    | 3       | 182                       | 231         | 255        |
| <b>TOO</b>                         | 4       | 364                       | 369         | 353        |
|                                    | 5       | 368                       | 367         | 343        |
|                                    | 6       | 355                       | 355         | 332        |
|                                    | 7       | 304                       | 355         | 328        |
| <b>ZM</b>                          | 8       | 188                       | 188         | 188        |
|                                    | 9       | 185                       | 187         | 185        |
|                                    | 10      | 185                       | 187         | 187        |



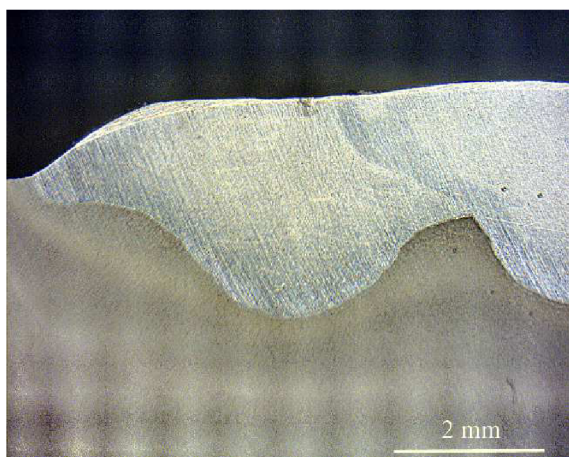
Obr. 56 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 3



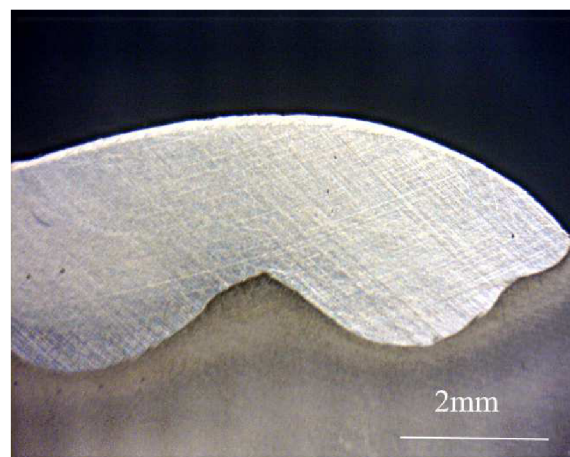
Po naměření tvrdosti dle Vickerse byly vzorky ke zkoumání makrostruktury znovu vyleštěny a naleptány. Připravené vzorky byly hodnoceny při 10 x zvětšení. U vzorků na povrchu i v řezu hodnoceny mikrotrhliny, trhliny, póry, vměstky a ostatní okem pozorovatelné vady. Ve výsledné makrostruktúře všech zkoumaných návarů neboli zahlídnuté žádné viditelné vady. Na obr. 57 je zobrazena makrostruktura návaru č. 7 s přídatným materiálem Stellite 25. Na obr. 58, 59, 60 jsou zobrazené detailní fotografie makrostruktur svaru č. 7.



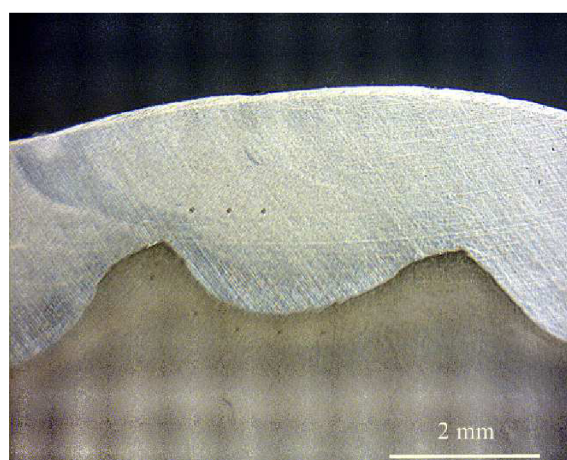
*Obr. 57 Makrostruktura návaru č. 7*



*Obr. 59 Makrostruktura detail C*

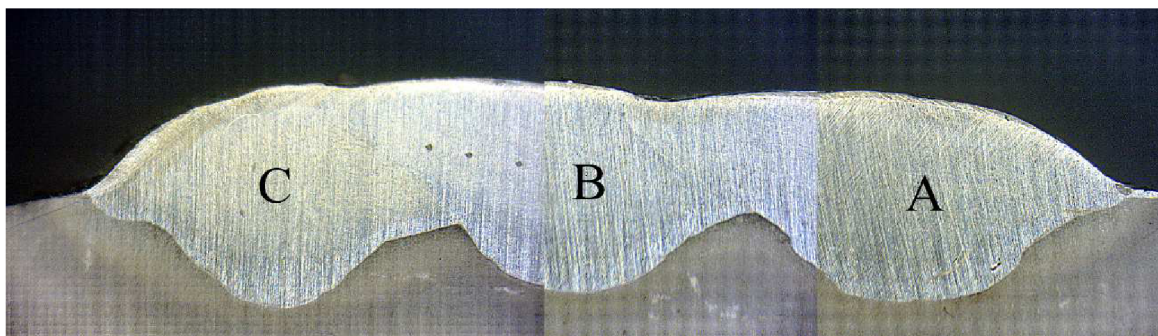


*Obr. 58 Makrostruktura detail A*

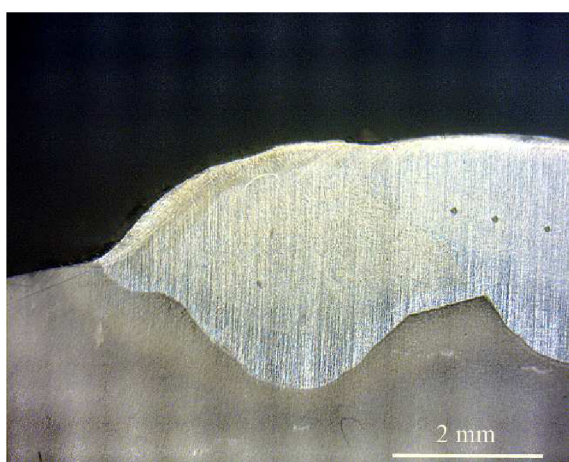


*Obr. 60 Makrostruktura detail B*

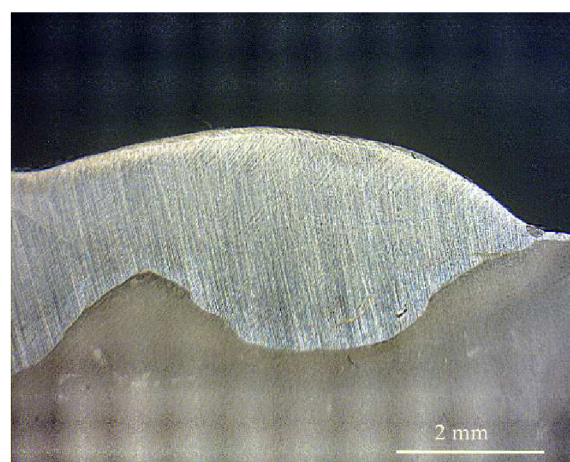
Na obr. 61 je zobrazena makrostruktura návaru č. 8 s přídavným materiálem Stellite 21. Na obr. 62, 63, 64 jsou zobrazené detailní fotografie makrostruktur svaru č. 7.



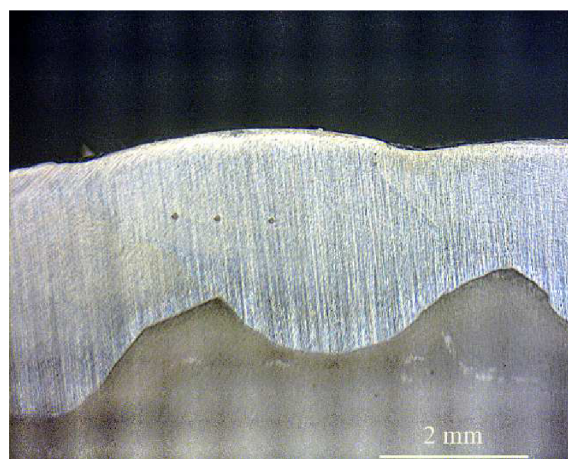
*Obr. 61 Makrostruktura návaru č. 8*



*Obr. 63 Makrostruktura detail C*



*Obr. 62 Makrostruktura detail A*



*Obr. 64 Makrostruktura detail B*

### 3.3 Vyhodnocení experimentu

V tab. 28 se nacházejí všechny naměřené, vypočtené hodnoty z experimentu.

Tab. 28 Výsledné hodnoty experimentu.

|              | $v = 8$<br>m/s | vzorek č.1                   |        |        | vzorek č.2                   |        |       | vzorek č.3                   |        |       |     |
|--------------|----------------|------------------------------|--------|--------|------------------------------|--------|-------|------------------------------|--------|-------|-----|
|              | 1.4122         | Teplota předhřevu 180 °<br>C |        |        | Teplota předhřevu 250<br>° C |        |       | Teplota předhřevu 300<br>° C |        |       |     |
|              |                | St. 6                        | St. 25 | St. 21 | St. 25                       | St. 21 | St. 6 | St. 25                       | St. 21 | St. 6 |     |
|              | Náv. Č.        | 1                            | 2      | 3      | 4                            | 5      | 6     | 7                            | 8      | 9     |     |
| TVRDOT HV 10 | SK             | 250                          | 185    | 215    | 174                          | 214    | 262   | 185                          | 238    | 248   |     |
|              |                | 252                          | 181    | 218    | 176                          | 216    | 269   | 182                          | 238    | 251   |     |
|              |                | 252                          | 181    | 219    | 176                          | 218    | 263   | 182                          | 231    | 255   |     |
|              | TOO            | 339                          | 369    | 305    | 291                          | 304    | 393   | 364                          | 369    | 353   |     |
|              |                | 331                          | 351    | 302    | 285                          | 296    | 370   | 368                          | 367    | 343   |     |
|              |                | 279                          | 317    | 307    | 282                          | 289    | 381   | 355                          | 355    | 332   |     |
|              |                | 268                          | 317    | 287    | 248                          | 280    | 368   | 304                          | 355    | 328   |     |
|              | ZM             | 189                          | 188    | 188    | 185                          | 183    | 184   | 188                          | 188    | 188   |     |
|              |                | 189                          | 187    | 188    | 185                          | 183    | 185   | 185                          | 187    | 185   |     |
|              |                | 186                          | 187    | 187    | 184                          | 181    | 184   | 185                          | 187    | 187   |     |
|              | h. č.1         | I [A]                        | 127    | 148    | 179,2                        | 158    | 167   | 161                          | 169    | 173   | 178 |
|              | h. č.2         |                              | 129    | 150    | 183,2                        | 155    | 170   | 167                          | 170    | 177   | 173 |
| h. č.3       | 126            |                              | 155    | 178,2  | 160                          | 173    | 168   | 172                          | 172    | 171   |     |
| h. č.1       | U [V]          | 23,6                         | 24,7   | 24,4   | 25,3                         | 24,5   | 24,3  | 24,8                         | 24,9   | 24,3  |     |
| h. č.2       |                | 23,8                         | 25,1   | 23,6   | 23,5                         | 24,7   | 24,8  | 25,1                         | 24,9   | 24,9  |     |
| h. č.3       |                | 23,4                         | 25,3   | 24,1   | 25,7                         | 25,2   | 24,6  | 25,8                         | 24,7   | 24,9  |     |
| h. č.1       | Qs<br>[kJ/mm]  | 0,300                        | 0,366  | 0,437  | 0,400                        | 0,409  | 0,391 | 0,419                        | 0,431  | 0,433 |     |
| h. č.2       |                | 0,307                        | 0,377  | 0,432  | 0,364                        | 0,420  | 0,414 | 0,427                        | 0,441  | 0,431 |     |
| h. č.3       |                | 0,295                        | 0,392  | 0,429  | 0,411                        | 0,436  | 0,413 | 0,444                        | 0,425  | 0,426 |     |

Na základě naměřených hodnot výsledných tvrdostí jednotlivých pásem můžeme s určitostí říct, že teploty ohřevu neměly vliv na výslednou tvrdost návaru. Při porovnání stejných návarů zjišťujeme, že naměřené hodnoty dle Vickerse se od sebe příliš neliší. Nejtvrdší vlastnosti ze všech kobaltových návarů vykazoval Stellite 6. Jako méně tvrdší návar byl Stellite 21 a nejměkčí tvrdost vykazoval návar Stellite 25. Nejvyšší hodnoty tvrdosti vykazovala tepelně ovlivněná oblast, kde došlo k zakalení a výraznému ztvrdnutí struktury. Navzdory volby nižší teploty předehřevu jak byla doporučena, se ve výsledných návarech neobjevily žádné trhliny nebo vady.

Velikost vneseného tepla byla vyhodnocená na základě hlavních parametrů metody MAG. Výsledné tvrdosti dle materiálových listů jsou ve skutečnosti menší. Odchylna výslední tvrdosti může být zapříčiněná několika faktory. Prvním faktorem může být svařovací proud. Velikost svařovacího proudu ovlivňuje velikost a tekutost svarové lázně tím může dojít k většímu promíšení mezi základním a přídavným materiálem. Velikost proudu u experimentu jsme nastavovali dle zkušenosti obsluhy a odpovídal i tabulkový hodnotě pro daný průměr svařovacího drátu. Pro zjištění příčiny by bylo ve větším rozsahu než je tato práce vykonat více návarů s velkým množstvím změn parametrů jako rychlost svařování, svařovací proud, metoda svařování atd. Následně vyhodnotit tvrdosti, makrostruktury, mikrostruktury a chemické složení.

## 4 ZÁVĚRY

Teoretická část zabývající se korozivzdornými oceli, vyjmenovává hlavní výhody těchto materiálů, jako jsou korozní a abrazivní odolnost vůči vnějším vlivům. Také byly zmíněny nejčastější druhy korozního napadení, jako je sklon k mezikrystalové korozi, koroznímu napadení bodovou korozi.

Další teoretická část je věnována korozivzdorným ocelím, jejich rozdělení, chemickému složení. Srovnává vlastnosti jednotlivých druhů korozivzdorných ocelí.

Teoretickou část uzavírá kapitola věnována svařitelnosti martenzitických ocelí a metod svařování. Zde jsou postupně rozebírané jednotlivé metody svařování jejich výhody a nevýhody. Každá metoda je popsána především k svařování korozivzdorných ocelí.

V praktické části bylo provedeno devět návarů na tři vzorky s různými teplotami předehřevu. Jako základní materiál se použila martenzitická korozivzdorná ocel 1.4122. Přídavným materiálem byly ve formě drátu 3 druhy kobaltových slitin typu Stellite o tloušťce 1,2 mm. Všechny přídavné materiály se vyznačují odolností vůči opotřebení, otěru a korozi při vysokých teplotách. Využití těchto vlastností je zejména při svařování ventilů, výfukových potrubí.

Jednotlivé kusy byly předem předehřátý v peci na požadovanou teplotu. Sváry byli provedeny metodou tavící se elektrody v aktivním ochranném plynu, známou pod názvem MAG. Svařovací parametry všech návarů byly zapsány na vyhodnocení vneseného tepla  $Q_s$ .

Po navaření všech svarů byla provedena příprava vzorků na měření tvrdosti dle Vickerse a vyhodnocení makrostruktury. U všech návarů nebyli zpozorovány žádné trhliny nebo vady. Z výsledných hodnot bylo patrné, že teplota předehřevu neměla vliv na výslední tvrdost. Dle předpokladů nejvyšší tvrdost dosáhnul kobaltový návar typu Stellite 6.

Samotný navařování kobaltových slitin má do budoucna kvůli svým vynikajícím vlastnostem všestranné využití.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [36]

1. MATERIÁLY A JEJICH SVAŘITELNOST: *učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2001. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS. Svařování. ISBN 80-857-7185-3.
2. STAINLESS TRADING (PTY) LTD: *Products* [online]. 2015 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.stainlesstradingsa.com/images/animation/9.jpg>
3. NORDSON XALOY: *Product-Pulsar-Mixing-Screw* [online]. 2012 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.xaloy.com/Files/Products/PulsarMixingScrew.jpg>
4. DESIGNMAGAZIN.CZ: *Designblok: Anna Kozová* [online]. 2009 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.designmagazin.cz/foto/2009/10/anna-kozova-designblok-2009-9.jpg>
5. THE DISCOVERY OF STAINLESS STEEL: 'Who was the inventor of stainless steel?'. [online]. [cit. 2016-03-14]. Dostupné z: [http://www.bssa.org.uk/about\\_stainless\\_steel.php?id=31](http://www.bssa.org.uk/about_stainless_steel.php?id=31)
6. ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1.vyd. Praha: Academia AV, 1999. 437s. ISBN 80-200-0671-0
7. FACULTY OF SCIENCE CHARLES UNIVERSITY IN PRAGUE: *Přípravné úlohy* [online]. 2010 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/cho/images/stories/42IChO/42%20teoreticke%20ulohy%20cesky.pdf>
8. VŠCHT PRAHA: *Korozní inženýrství* [online]. 2002 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/)
9. ALASKA GIRL AT HEART: *Fraser Island Australia* [online]. 2014 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: [http://alaskagirlatheart.com/wp-content/uploads/2014/01/DSC\\_3455-Low-Res.jpg](http://alaskagirlatheart.com/wp-content/uploads/2014/01/DSC_3455-Low-Res.jpg)
10. PLUHAŘ, Jaroslav a kol. *Nauka o materiálech*. 1 vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury SNTL, 1989. 552s.
11. DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu II. část. 2.* vyd. Brno: VUT Brno, 1976. ISBN 80-214-1028-0
12. WIKIPEDIA: *the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Galvanick%C3%BD\\_%C4%8D1%C3%A1nek.svg](http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Galvanick%C3%BD_%C4%8D1%C3%A1nek.svg)
13. ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 2.vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury SNTL, 1978. 408s.
14. AF MENDELU: *Druhy korozního napadení* [online]. 2016 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/files/95/10980.jpg](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/95/10980.jpg)
15. BARTONÍČEK, Robert a kolektiv. *Koroze a protikoroze ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd Academia, 1966, 720 s. DT 21.037.66.

16. KOROZNÍ PRASKÁNÍ. *Koroze a korozní praskání* [online]. Praha: Vysoká škola Chemicko-technická [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze\\_korozni\\_praskani/teorie.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_korozni_praskani/teorie.htm)
17. NTNU. *Grain boundary nanostructure and intercrystalline corrosion of 6000-series extrusions* [online]. 2016 [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <https://www.ntnu.edu/documents/140082/20388316/grain-boundary-figure-1.jpg/f44cd8d2-2414-412f-80b6-8af9214bfda5?t=1435566296276>
18. HADYNA INTERNATIONAL s.r.o. *Svět svarů* [online]. 2014 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf)
19. PTÁČEK, Luděk. a kol. *Nauka o materiálu II. 2. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 391 s. ISBN 80-7204-248-3.
20. TERAPOL spol. s.r.o. *Tabulky jakostí* [online]. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/no-tj-martenziticke>
21. FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. 1996. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
22. SODEL Ltd. *Cold cracking of welds* [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.sodel.com/medias/iw/cold-cracking-of-welds-sodel.pdf>
23. HISTPROJECT.NO. *Tepelné spracovanie základného materiálu a zvarového spoja* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: [http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2\\_06.pdf](http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_06.pdf)
24. ISSF. *Svařování korozivzdorných ocelí* [online]. 2010 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/BrochureWeldability\\_CZ.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/BrochureWeldability_CZ.pdf)
25. ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG: Ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-88780-21-7.
26. HADYNA INTERNATIONAL s.r.o. *Svět svarů* [online]. 2014 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2014/05/2014-1\\_SvarovaniPlasmou.pdf](http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2014/05/2014-1_SvarovaniPlasmou.pdf)
27. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: sylabus díly 1* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
28. AMBROŽ, Oldřich, KANDUS, Bohumil, KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: ZEROSS, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
29. BENKO B., FODEREK P., KOSEČEK M, BIELAK R.. *Laserové technologie*, 1.vyd., Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000, edice 4859, ISBN 80-227-1425-9.21.

30. BOHDAN BOLZANO s.r.o.: *Dělení materiálu, předpracované polotovary* [online]. 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/Katalog-nastrojovky.pdf>
31. DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE GMBH. *1.4122* [online]. 2007 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: [http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/RSH/1.4122\\_en.pdf](http://www.dew-stahl.com/fileadmin/files/dew-stahl.com/documents/Publikationen/Werkstoffdatenblaetter/RSH/1.4122_en.pdf)
32. DOERREBERG. *1.4122* [online]. 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z [http://www.doerrenberg.de/uploads/tx\\_c1x1downloads/1.4122\\_en.pdf](http://www.doerrenberg.de/uploads/tx_c1x1downloads/1.4122_en.pdf)
33. KENNAMETAL. *Welding* [online]. 2010 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.stellite.co.uk>
34. Fronius. *Výrobní katalog 2006/2007* [online]. 2016. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.fronius.com>
35. SCIENCEDIRECT. *Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17-4 PH stainless steel* [online]. 2016 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092583881100291X>
36. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení        | Legenda                             | Jednotka             |
|-----------------|-------------------------------------|----------------------|
| °C              | stupeň celsia                       | [-]                  |
| A               | tažnost                             | [%]                  |
| C               | uhlík                               | [-]                  |
| CaO             | oxid vápenatý                       | [-]                  |
| cm              | centimetr                           | [-]                  |
| Co              | kobalt                              | [-]                  |
| CO <sub>2</sub> | oxid uhličitý                       | [-]                  |
| Cos $\phi$      | účinek svářečky                     | [-]                  |
| Cr              | chrom                               | [-]                  |
| Cu              | měď                                 | [-]                  |
| E               | elektrický potenciál                | [V]                  |
| E <sub>b</sub>  | průrazový potenciál                 | [V]                  |
| E <sub>cr</sub> | ekvivalent chromu                   | [-]                  |
| E <sub>o</sub>  | standartní potenciál                | [V]                  |
| E <sub>p</sub>  | pasivační potenciál                 | [V]                  |
| E <sub>r</sub>  | rovnovážný potenciál                | [V]                  |
| E <sub>t</sub>  | transpasivační potenciál            | [V]                  |
| Fe              | železo                              | [-]                  |
| g               | gram                                | [-]                  |
| Gpa             | gigapascal                          | [-]                  |
| hm. %           | hmotnostní procento                 | [-]                  |
| He              | hélium                              | [-]                  |
| HRC             | tvrdost dle rockwella               | [-]                  |
| HV              | tvrdost dle vickersa                | [-]                  |
| I               | proud                               | [A]                  |
| J               | proudová hustota                    | [A·m <sup>-2</sup> ] |
| j <sub>kp</sub> | kritická pasivační proudová hustota | [A·m <sup>-2</sup> ] |
| j <sub>p</sub>  | pasívní proudová hustota            | [A·m <sup>-2</sup> ] |
| kg              | kilogram                            | [-]                  |
| K               | kelvin                              | [-]                  |
| Kj              | kilojoul                            | [-]                  |
| Kv              | nárazová práce                      | [J]                  |
| m               | metr                                | [-]                  |
| m <sup>2</sup>  | metr čtvereční                      | [-]                  |
| M <sub>f</sub>  | martenzit finish                    | [-]                  |
| MgO             | oxid horečnatý                      | [-]                  |
| min             | minuta                              | [-]                  |
| mm              | milimetr                            | [-]                  |
| Mn              | mangan                              | [-]                  |
| Mo              | molybden                            | [-]                  |
| Mpa             | megapascal                          | [-]                  |
| Ms              | martenzit start                     | [-]                  |
| N               | dusík                               | [-]                  |
| NaCl            | chlorid sodný                       | [-]                  |
| Nb              | niob                                | [-]                  |
| Ni              | nikl                                | [-]                  |
| Ni <sub>e</sub> | ekvivalent niklu                    | [-]                  |



|                  |                                     |           |
|------------------|-------------------------------------|-----------|
| O <sub>2</sub>   | kyslík                              | [-]       |
| P                | fosfor                              | [-]       |
| Q                | elektrický náboj                    | [C]       |
| Q <sub>s</sub>   | specifické teplo vnesené do oblouku | [Kj/mm]   |
| R <sub>m</sub>   | mez pevnosti v tahu                 | [MPa]     |
| R <sub>p</sub>   | mez kluzu                           | [MPa]     |
| S                | síra                                | [-]       |
| Si               | křemík                              | [-]       |
| SiO <sub>2</sub> | oxid křemičitý                      | [-]       |
| SK               | svarový kov                         | [-]       |
| Ti               | titán                               | [-]       |
| TOO              | tepelně ovlivněná oblast            | [-]       |
| U                | napětí                              | [V]       |
| V                | volt                                | [-]       |
| v <sub>s</sub>   | rychlost svařování                  | [m/s]     |
| W                | wolfram                             | [-]       |
| Zn               | zinek                               | [-]       |
| α                | alfa fáze                           | [-]       |
| γ                | gama fáze                           | [-]       |
| ΔG               | změna volné entalpie                | [J/mol.K] |
| ΔH               | změna entalpie                      | [J/mol.K] |
| ΔS               | změna entropie                      | [J/mol.K] |
| Δt               | rozdíl teplot                       | [°C]      |
| η                | účinnost                            | [%]       |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Využití v praxi [2 ], [3 ], [4 ] .....   | 9  |
| Obr. 2 Mikrostruktura ocele 1.4122 [5] .....  | 10 |
| Obr. 3 Ellingrhamův diagram [7] .....   | 11 |
| Obr. 4 Vliv přídavku chromu na pasivitu [8].....  | 12 |
| Obr. 5 Polarizační křivka EP [8].....   | 12 |
| Obr. 6 Dlouhodobé působení koroze [9] .....   | 13 |
| Obr. 7 Obecný tvar křivek časové závislosti korozní rychlosti při oxidaci kovů [10] ..... | 13 |
| Obr. 8 Schematické zobrazení galvanického článku Cu-Zn [12] .....                         | 14 |
| Obr. 9 Některé druhy korozního napadení [8].....  | 15 |
| Obr. 10 Schematické zobrazení průběhu bodové a důlkové koroze [14] .....                  | 15 |
| Obr. 11 Vzhled mezikrystalové koroze u slitiny hliníka AlMgSi [17].....                   | 16 |
| Obr. 12 Transkrystalické šíření trhlin [16] .....   | 16 |
| Obr. 13 Rovnovážný diagram Fe -Cr [18] .....  | 17 |
| Obr. 14 Schaefflerův diagram [18] .....   | 18 |
| Obr. 15 Longův diagram [18] .....   | 18 |
| Obr. 16 Diagram závislosti obsahu uhlíku na chromovém ekvivalentu [18] .....              | 19 |
| Obr. 17 Teplotně ovlivněná oblast sváru [1] .....   | 21 |
| Obr. 18 Studená trhlina [22] .....  | 22 |
| Obr. 19 Příčiny vzniku studených trhlin [22] .....  | 22 |
| Obr. 20 Ochlazovací doba $\Delta t_{8/5}$ [1] .....                                       | 23 |
| Obr. 21 Teplotní oblasti druhů žhání [23] .....   | 23 |
| Obr. 22 Princip svařovací technologie TIG [24] .....                                      | 24 |
| Obr. 23 Princip svařování plazmou [24].....   | 25 |
| Obr. 24 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním plynu [24] .....                | 27 |
| Obr. 25 Plněná elektroda [24].....  | 27 |
| Obr. 26 Princip ručního obloukového svařování [24] .....                                  | 29 |
| Obr. 27 Princip svařování pod tavidlem [24] .....   | 30 |
| Obr. 28 Princip odporového bodového svařování [24].....                                   | 31 |
| Obr. 29 Princip odporového švového svařování [24] .....                                   | 31 |
| Obr. 30 Princip $\text{CO}_2$ laseru [24] .....   | 32 |
| Obr. 31 Princip elektronového svařování [24].....   | 33 |
| Obr. 32 ARA diagram oceli 1.4122 [32].....  | 34 |
| Obr. 33 Mikrostruktura Stellite 6 [33].....   | 36 |
| Obr. 34 Mikrostruktura Stellite 21 [33].....  | 36 |
| Obr. 35 Vzorek základního materiálu.....  | 37 |
| Obr. 36 Svařovací zařízení Fronius .....  | 38 |
| Obr. 37 Předehřívání základního materiálu .....   | 38 |
| Obr. 38 Navařování housenky Stellite.....   | 39 |
| Obr. 39 Měření teploty po navaření housenky .....   | 39 |
| Obr. 40 Ohřev na teplotu předehřevu .....   | 39 |
| Obr. 41 Návar č. 1.....   | 40 |
| Obr. 42 Návar č. 2.....   | 40 |
| Obr. 43 Návar č. 3.....   | 40 |
| Obr. 44 Návar č. 4.....   | 41 |
| Obr. 45 Návar č. 5.....   | 41 |
| Obr. 46 Návar č. 6.....   | 41 |
| Obr. 47 Návar č. 7.....   | 42 |
| Obr. 48 Návar č. 8.....   | 42 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 49 Návar č. 9.....                                 | 43 |
| Obr. 50 Ruční rozbrušovací pila Struers Labotom-5 ..... | 44 |
| Obr. 51 Dvoukotoučová bruska a leštička Saphir.....     | 44 |
| Obr. 52 Vzorky po leštění a naleptání .....             | 45 |
| Obr. 53 Měření tvrdosti .....                           | 46 |
| Obr. 54 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 1 .....              | 46 |
| Obr. 55 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 2 .....              | 47 |
| Obr. 56 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 3 .....              | 48 |
| Obr. 57 Makrostruktura návaru č. 7.....                 | 49 |
| Obr. 58 Makrostruktura detail A.....                    | 49 |
| Obr. 59 Makrostruktura detail C.....                    | 49 |
| Obr. 60 Makrostruktura detail B.....                    | 49 |
| Obr. 61 Makrostruktura návaru č. 8.....                 | 50 |
| Obr. 62 Makrostruktura detail A.....                    | 50 |
| Obr. 63 Makrostruktura detail C.....                    | 50 |
| Obr. 64 Makrostruktura detail B.....                    | 50 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Elektrochemické potenciály kovů [1].....                             | 14 |
| Tab. 2 Austenitotvorné a feritotvorné prvky[1].....                         | 17 |
| Tab. 3 Martenzitické korozivzdorné ocele [20].....                          | 20 |
| Tab. 4 Opatření k zamezení vzniku studených trhlin [1].....                 | 22 |
| Tab. 5 Výhody obloukového svařování TIG [24].....                           | 25 |
| Tab. 6 Výhody plazmového svařování [26].....                                | 26 |
| Tab. 7 Výhody laserového svařování [29].....                                | 32 |
| Tab. 8 Složení základního materiálu X39CrMo17-1 v % [31].....               | 34 |
| Tab. 9 Přehled mechanických vlastností zvolené oceli [11].....              | 35 |
| Tab. 10 Tvrdost a chemické složení kobaltových elektrod typu Stellite [33]. | 35 |
| Tab. 11 Mechanické vlastnosti Stellite 25 [33].                             | 35 |
| Tab. 12 Mechanické vlastnosti stellite 6 [33].....                          | 36 |
| Tab. 13 Mechanické vlastnosti Stellite 21 [33].                             | 36 |
| Tab. 14 Technické parametre svařovacího zdroje TPS 4000 [34].....           | 37 |
| Tab. 15 Parametry návaru č. 1. ....   | 40 |
| Tab. 16 Parametry návaru č. 2. ....   | 40 |
| Tab. 17 Parametry návaru č. 3. ....   | 40 |
| Tab. 18 Parametry návaru č. 4. ....   | 41 |
| Tab. 19 Parametry návaru č. 5. ....   | 41 |
| Tab. 20 Parametry návaru č. 6. ....   | 42 |
| Tab. 21 Parametry návaru č. 7. ....   | 42 |
| Tab. 22 Parametry návaru č. 8. ....   | 42 |
| Tab. 23 Parametry návaru č. 9. ....   | 43 |
| Tab. 24 Výsledný hodnoty dodaného tepla do oblouku .....                    | 43 |
| Tab. 25 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 1.....                    | 46 |
| Tab. 26 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 1.....                    | 47 |
| Tab. 27 Naměřené hodnoty dle Vickerse u vzorku č. 1.....                    | 48 |
| Tab. 28 Výsledné hodnoty experimentu. ....                                  | 51 |

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Materiálový list oceli 1.4122
- Příloha 2 Materiálový list Stellite 6
- Příloha 3 Materiálový list Stellite 25
- Příloha 4 Materiálový list Stellite 21

# Příloha 1. Materiálový list oceli 1.4122

MILL'S INSPECTION CERTIFICATE  
DOKUMENT DE CONTRÔLE

**S.r.o.**



Certificat No  
Bestellung Nr.-Objednávka č.-Order No  
No de la Commande

Besteller-Zákazník-Customer-Acheteur **EN 10204/3.1.**

**STAPPERT Česká republika spol.s.r.o.**

Kom.Nr.  
DP

Prüfgegenstand-Zkoušený výrobek-Article-Produit

**Kovaná ocel kruhová**

Werkstoff-Materiál-Material-Matíe-Entsprechend-Odpovídá-According to-Suivant-Ausgabe-Vydání-Edition

**X39CrMo17-1**

**W.Nr. 1.4122**

**EN 10088-3**

Lieferzustand-Dodávaný stav-State of delivery-Etat de livraison **Zuŕlecht.+žih. na sníž. vnitř. pnutí** **opracovaný**

Erschmelzungsart-Výrobní způsob-Meltingprocess-Procédé d'élaboration **elektro ocel**

Giessart-Způsob odlévání-Casting method-Methode de coulée **ingot**

## UMFANG DER LIEFERUNG-ROZSAH DODÁVKY-EXTENT OF MATERIAL DELIVERY-LISTE DESCRIPTIVE

| Gegenstand-Předmět-Article-Désignation<br>produkt | Schmelze Nr.-Číslo<br>tavy-Heat No-No<br>coulée | Stückzahl-Počet<br>Number of-Qté<br>(Quantité) | Gewicht-Váha kg<br>Delivered-Fourni | Probe Nr.-Číslo<br>zkoušky- Test No-No<br>d'éprouvette |
|---|---|--|-------------------------------------|--|
| 65  | 1 3560 - 3570                                   | 24095  | 3                                   | 885  |
|   | 2   |  |                                     | 874S   |
|   | 3   |  |                                     | 124C   |
|   | 4   |  |                                     |  |

## ERGEBNISSE DER SCHMELZPRÜFNUGEN-CHEMICKÉ SLOŽENÍ TAVBY-CHEMICAL COMPOSITION OF THE HEAT-COMPOSITION CHIMIQUE DE LA COULÉE

|       | C    | Mn   | Si   | P     | S     | Cr    | Mo   | Ni   |  |  |  |  |  |  |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|--|--|--|--|--|--|
| 24095 | 0,37 | 0,64 | 0,31 | 0,025 | 0,007 | 15,63 | 0,88 | 0,45 |  |  |  |  |  |  |
|       |      |      |      |       |       |       |      |      |  |  |  |  |  |  |
|       |      |      |      |       |       |       |      |      |  |  |  |  |  |  |

## ABNAHMEPRÜFUNGEN-PREJÍMACÍ ZKOUŠKY-INSPECTION TESTS-ESSAI DE RECEPTION

|   | 1    | 2       | 3        | 4 | Verformungsgrad - Stupeň protváření - Forging ratio |
|---|------|---------|----------|---|---|
| Probe Nr.-č. zkoušky-Tests No-No de l'éprouvete                             | 874S | 124C    |          |   | 9,42  |
| 100% Ultrasonic tests SEP 1921/84   |      |         |          |   |   |
|   |      |         |          |   |   |
|   |      |         |          |   |   |
| Pevnost Tvrdost Hardnes Dureté  | HB   | 285-292 |          |   |   |
| Probenentnahme-Richtung- Směr odběru Specimen-direction-Prélevement         | L    | L       |          |   |   |
| Prüftemperatur-Téplota zkoušení Test temperature-Temperature d'essai        | °C   | +23     | +23      |   |   |
| Streck-Dehngrenze-Mez kluzu Yield strength-Limite d'élasticité (Rp0,2)      | MPa  | 764     |          |   |   |
| Zugfestigkeit-Pevnost v tahu-Tensile strength-Résistance à la traction (Rm) | MPa  | 947     |          |   |   |
| Bruchdehnung-Prodoužení-Elongation-Allongement (A5)                         | %    | 15,2    |          |   |   |
| Bruchreducing-Zúžení-Contraction-Reduction of area (Z)                      | %    | 41,7    |          |   |   |
| Kerbschlagzähigkeit-Résilience-Impact strength-Vrbová houževnatost (Kv,J)   | J    |         | 20-15-16 |   |   |

100% kontrola spektroskopem. 100% vizuální a rozměrová kontrola.



**POLDI s.r.o.**

Průmyslová 1343, 272 62 Kladno

IČO: 24245984

DIČ: CZ24245984

11

Ort-Misto-Location-Lieu  
Kladno

Date-Datum-Data

Der Werkssachverständige-Odpovědný pracovník  
Inspector-L'expert: CHOCHOLOVÁ

## Příloha 2. Materiálový list Stellite 6.

### Zander F - Kobastell 6

Strana 1/1

SKUPINA: Slitiny na bázi kobaltu

NORMY: EN ISO 14700 : T Co 2  
AWS A5.21 : E CoCr-A

#### CHEMICKÉ SLOŽENÍ

| C   | Cr   | Co   | W | Fe |
|-----|------|------|---|----|
| 1,1 | 27,5 | rest | 5 | 2  |

TVRDOST: 40-42 [ HRC ]

POLARITA: DC+

PLYN: I1

MATERIÁLY: Excelentní odolnost vůči abrazi, kavitaci a korozi při vysokých teplotách a při kombinaci uvedených zatížení, snáší tepelné šoky. V celém rozsahu pracovních teplot zachovává stejnou strukturu. Návar se tepelně nezpracovává, opracování broušením. Nejrozšířenější typ kobaltového návaru.

POUŽITÍ: Trubičkový drát na kobaltové bázi pro navařování metodou MIG. Ocelářský průmysl, střížné nástroje pro práci za tepla, armatury, výfukové dýzy a ventily.

TYP/METODA: FCAW Trubičkový drát / MIG

VÝROBCE: Zander Schweisstechnik

POLOHY:



#### PRŮMĚRY A BALENÍ

| Objednáací číslo | Průměr | Balení        |
|------------------|--------|---------------|
| St6F16-3         | 1,6 mm | 15 kg / BS300 |
| St6F12-3         | 1,2 mm | 15 kg / BS300 |

### Příloha 3. Materiálový list Stellite 25

## Zander F - Kobastell 25

Strana 1/1

SKUPINA: Slitiny na bázi kobaltu  
NORMY: EN ISO 14700 : T Co 1  
AWS 5.21 : není kodifikováno

#### CHEMICKÉ SLOŽENÍ

| C   | Cr | Ni | Co   | W  | Fe |
|-----|----|----|------|----|----|
| 0,1 | 20 | 10 | rest | 15 | 3  |

TVRDOST: 45 [ HRC ]

POLARITA: DC+

PLYN: I1

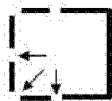
MATERIÁLY: Kobaltová slitina s austenitickou strukturou dolegovaná 10% Ni, excelentní odolnost vůči kavitaci a korozi při vysokých teplotách a při kombinaci uvedených zatížení, snáší tepelné šoky. V celém rozsahu pracovních teplot zachovává stejnou strukturu. Návár se tepelně nezpracovává, opracování broušením. Možnost mechanicky vytvrdit. Obrobitelnost řeznou keramikou.

POUŽITÍ: Trubičkový drát na kobaltové bázi pro navařování metodou MIG. Letecký průmysl, zápusky za horka, armatury, výfukové dýzy a ventily. Pracovní teploty do 900°C.

TYP/METODA: FCAW Trubičkový drát / MIG

VÝROBCE: Zander Schweisstechnik

POLOHY:



4

#### PRŮMĚRY A BALENÍ

| Objednáč. číslo | Průměr | Balení        |
|-----------------|--------|---------------|
| St25F16-3       | 1,6 mm | 15 kg / BS300 |
| St25F12-3       | 1,2 mm | 15 kg / BS300 |



## Příloha 4. Materiálový list Stellite 21

### Zander F - Kobastell 21

Strana 1/1

SKUPINA: Slitiny na bázi kobaltu

NORMY: EN ISO 14700 : T Co 1  
AWS A5.21 : E CoCr-E

#### CHEMICKÉ SLOŽENÍ

| C    | Cr | Ni  | Mo  | Co   | Fe  |
|------|----|-----|-----|------|-----|
| 0,25 | 27 | 2,5 | 5,5 | rest | 2,5 |

TVRDOST: 35 [ HRC ]

POLARITA: DC+

PLYN: I1

MATERIÁLY: Kobaltová slitina vysoká odolnost vůči korozní odolnosti při vysokých teplotách .

POUŽITÍ: Trubičkový drát na kobaltové bázi pro navařování metodou MIG. Letecký průmysl, armatury, výfukové dýzy a ventily, nástroje pracující za horka.vysoká odolnost vůči rázům, při kombinaci uvedených zatížení, snáší tepelné šoky.V celém rozsahu pracovních teplot zachovává stejnou strukturu.Návar se tepelně nezpracovává, opracování broušením.Možnost mechanicky vytvrdit. Návar pomalu ochlazovat.

TYP/METODA: FCAW Trubičkový drát / MIG

VÝROBCE: Zander Schweisstechnik

POLOHY:



4

#### PRŮMĚRY A BALENÍ

| Objednací číslo | Průměr | Balení        |
|-----------------|--------|---------------|
| St21F16-3       | 1,6 mm | 15 kg / BS300 |
| St21F12-3       | 1,2 mm | 15 kg / BS300 |