

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vliv technologie heterogenního svařování  
na korozní odolnost povrchu

Autor: **Petr Novák**  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Vnouček, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Novák	Jméno Petr		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vnouček, Ph.D.	Jméno Milan		
<b>PRACOVISTĚ</b>	ZČU - FST - KMM			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Vliv technologie heterogenního svařování na korozní odolnost povrchu			

<b>FAKULTA</b>	strojí	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	--------	----------------	-----	------------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	41	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>
---------------	----	---------------------	--------------------------

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce se zabývá mořením heterogenních výrobků, které vznikly svařením dvou korozivzdorných ocelí, a to austenitické a martenzitické ocele. Práce je zaměřena na vliv mořicího prostředku na povrch svařené součásti, změnu drsnosti a korozní odolnost povrchu. V praktické části jsou vzorky ze svařence mořeny ve dvou experimentálních mořicích lázních. Následně se zkoumá degradace povrchu vlivem moření, změna drsnosti a korozní odolnost. Zkouška korozní odolnosti se provádí v korozní komoře, kde jsou vzorky vystaveny koroznímu prostředí. Podle korozního napadení se posoudí vliv mořidla na oblast svaru.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Heterogenní součásti, moření, korozní odolnost</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Novák	Name Petr	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 „Materials Engineering and Engineering Metallurgy“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vnouček, Ph.D.	Name Milan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Influence of heterogeneous welding on corrosion resistance of the surface		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KMM	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	41	<b>TEXT PART</b>		<b>GRAPHICAL PART</b>	
----------------	----	------------------	--	-----------------------	--

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Bachelor thesis deals with pickling heterogeneous products. These products were created by welding two stainless steels, namely austenitic and martensitic steels. This work is localized to influence of pickling bath on surface of welding part, skid resistance and corrosion resistance. In the practical part are samples pickled in two experimentally picking bath. Next is investigated degradation of surface, change of skid resistance and corrosion resistance. Corrosion test is performed in a corrosion chamber, where they are exposed to corrosive environment. Based on the amount of corrosion on the samples we will analyze influence of welding and pickling to area of the weld.
<b>KEY WORDS</b>	heterogeneous products, pickling, corrosion resistance

## **Poděkování**

V úvodu bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali a vycházeli vstříc při zpracování mé bakalářské práce. Největší poděkování patří vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Milanovi Vnoučkovi Ph.D. , který mi byl nápomocen při vypracování práce, za vynaložený čas, ochotu a užitečné rady.

## Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	3
SEZNAM TABULEK.....	4
1 Úvod.....	5
1.1 Současný stav .....	6
1.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí .....	7
1.2.1 Feritické oceli .....	7
1.2.2 Martenzitické oceli .....	7
1.2.3 Austenitické oceli .....	8
1.2.4 Austeniticko-feritické oceli-duplexní.....	8
1.3 Spojování korozivzdorných ocelí .....	8
1.3.1 Vhodné metody pro svařování korozivzdorných ocelí .....	9
1.3.2 Heterogenní svarový spoj.....	9
1.3.3 Příklad heterogenního svarového spoje.....	11
1.3.4 Svařování korozivzdorné ocele s méně ušlechtilou oceli.....	11
1.4 Moření .....	12
1.4.1 Metody moření .....	12
1.5 Koroze .....	14
1.5.1 Rovnoměrná koroze .....	14
1.5.2 Nerovnoměrná koroze .....	15
1.5.3 Chemická koroze.....	15
1.5.4 Elektrochemická koroze .....	17
1.6 Pasivace .....	17
1.7 Korozní zkoušky.....	18
2 Experimentální část .....	20
2.1 Zhotovení vzorků ze svařence .....	21
2.2 Moření .....	23
2.2.1 Mořící lázeň s Inhibitore, P29 .....	23
2.2.2 Mořící lázeň s peroxidem vodíku.....	23
2.2.3 Povrch po odmoření Inhibitor P29 .....	24
2.2.4 Povrch po odmoření ve vlastní lázni .....	24
2.3 Měření drsnosti povrchu jednotlivých ploch vzorků.....	25
2.3.1 Naměřené hodnoty .....	25

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie	Petr Novák
2.3.2 Výsledné hodnoty získané z naměřených hodnot .....	26
2.4 Zkouška korozní odolnosti .....	27
2.5 Vyhodnocení vzorků po zkoušce korozní odolnosti.....	28
2.6 Drsnost po korozní zkoušce.....	29
2.7 Chemická analýza.....	29
2.7.1 Martenzitická ocel .....	30
2.7.2 Austenitická ocel .....	30
2.7.3 Svar.....	31
2.8 Měření tvrdosti .....	32
3 Závěr.....	33
ZDROJE .....	35
OBRÁZKY-INTERNETOVÉ ZDROJE.....	36

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schaefflerův diagram .....	10
Obr. 2 Svarový spoj ocelí P92 a Wr.N.1.4918 .....	11
Obr. 3 Moření postříkem .....	13
Obr. 4 Moření pomocí pasty .....	13
Obr. 5 Mořící lázeň .....	13
Obr. 6 Rovnoměrná koroze .....	14
Obr. 7 Mezikrystalová koroze .....	15
Obr. 8 Selektivní napadení .....	15
Obr. 9 Mechanismus vzniku vodíkové křehkosti .....	16
Obr. 10 Mechanismus samoobnovy .....	18
Obr. 11 Korozní komora .....	19
Obr. 12 Svařenec v dodaném stavu .....	21
Obr. 13 Svařenec v dodaném stavu .....	21
Obr. 14 Vzorek před mořením .....	22
Obr. 15 Vzorek po moření (Inhibitor P29) .....	22
Obr. 16 Duplexní ocel .....	22
Obr. 17 Vzorek po odmoření Inhibitor P 29 .....	24
Obr. 18 Vzorek po odmoření vlastní lázeň .....	24
Obr. 19 Drsnoměr Mahr M300 .....	25
Obr. 20 Vzorky v korozní komoře .....	27
Obr. 21 Vzorek po zkoušce v korozní komoře .....	28
Obr. 22 Vzorek po zkoušce v korozní komoře .....	28
Obr. 23 Vzorek-mořeno Inhibitor P29 .....	29
Obr. 24 Chemické složení-martenzitická ocel .....	30
Obr. 25 Chemické složení-austenitická ocel .....	30
Obr. 26 Chemické složení-svar .....	31
Obr. 27 Tvrdoměr .....	32
Obr. 28 Mikrotvrdost .....	32
Obr. 29 Vzorek-měření mikrotvrdosti .....	32



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rovnice .....	16
Tab. 2 Drsnost povrchu- vzorky před mořením .....	25
Tab. 3 Drsnost povrchu-mořeno Inhibitor P29 .....	25
Tab. 4 Drsnost povrchu-mořeno mořící lázeň s peroxidem vodíku .....	26
Tab. 5 Drsnost povrchu-po zkoušce korozní odolnosti.....	26
Tab. 6 Výsledné hodnoty-moření.....	26
Tab. 7 Parametry korozní komory.....	27
Tab. 8 Hodnoty drsnosti povrchu po zkoušce korozní odolnosti.....	29
Tab. 9 Chem. složení martenzitická ocel .....	30
Tab. 10 Chem. složení-austenitická ocel.....	30
Tab. 11 Chemické složení-svar .....	31

## 1 Úvod

V současné době se v průmyslu využívají různé kombinace materiálů s různými vlastnostmi ke zhotovení jednoho výrobku. Využívají se zejména tam, kde je potřeba aby daná část výrobku měla lepší mechanické vlastnosti než ostatní základní materiál. Tato část pak posunuje vlastnosti a použitelnost výrobku na jinou úroveň. Vhodným příkladem může být soustružnický nůž, který lze vyrobit jako monolitický kus, a nebo jako řezný nástroj složený z ocelového těla a řezné destičky ze slinutého karbidu.

Problematika těchto heterogenních výrobků je ve spojování dvou (popřípadě více) materiálů s odlišnými vlastnostmi. Tato záležitost se dá řešit pomocí rozebíratelných nebo nerozebíratelných spojení. Využití různých způsobů spojení je záležitostí konstrukce výrobku a ovlivňuje ho vícero faktorů. V této práci bude posuzován vliv koroze na svařovaný heterogenní spoj. Tento opomíjený fakt může v jistých nepředvídatelných podmínkách způsobovat porušení soudržnosti materiálů. Jelikož námi zkoumané spojení je využíváno v nosičích námořních záchranných prostředků, mělo by toto selhání fatální důsledky. Při svařování dvou korozivzdorných ocelí nastává v oblasti svaru narušení korozní odolnosti a vznik náběhových barev oxidů. Znovuobnovení korozní odolnosti a odstranění náběhových barev lze dvěma způsoby a to buď mechanickým opracováním, nebo chemickým způsobem. První způsob není popisem této práce, a proto nebude dále zmiňován. Budeme se zabývat pouze druhým způsobem, kterým je odmoření součásti v mořící lázni.

## 1.1 Současný stav

Chemické opracování je komplikované z toho důvodu, že materiály mají odlišné chemické složení a tím pádem i odlišnou chemickou odolnost a mechanické vlastnosti. Kvůli odlišné chemické odolnosti nedochází k rovnoměrnému odmoření součásti. Náplní této práce je zjištění vlivu mořící lázně na povrch svaru a změnu korozní odolnosti.

Tato práce se zabývá mořením heterogenních výrobků, které vznikly svařením dvou korozivzdorných ocelí, a to austenitické ČSN 17352 (Wr.N. 1.4436) a martenzitické ocele ČSN 17022 (Wr.N. 1.4418). Tyto dvě ocele se používají na výrobu nosných konstrukcí pro záchranné čluny na zaoceánských lodích. Martenzitická ocel je použita na mechanicky namáhané části zařízení a z austenitické oceli je vyrobena zbylá konstrukce. Tyto materiály jsou vystavené agresivnímu působení mořské vody, proto jsou kladeny vysoké nároky na korozní odolnost v oblasti spojení těchto dvou ocelí.

Práce je zaměřena na vliv mořícího prostředku na povrch svařené součásti, změnu drsnosti a korozní odolnost povrchu. V praktické části jsou vzorky ze svařence mořeny ve dvou experimentálních mořících lázních. Následně se zkoumá degradace povrchu vlivem moření, změna drsnosti a korozní odolnost, chemické promíšení svařovaných součástí. Zkouška korozní odolnosti se provádí v korozní komoře, kde jsou vzorky vystaveny koroznímu prostředí. Podle korozního napadení se posoudí vliv mořidla na oblast svaru. Jako indikátor stavu povrchu bude využito vysoce citlivé měření povrchové drsnosti

## 1.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí

**Korozivzdorná ocel** je druh oceli, která je díky svým vlastnostem odolná vůči chemické korozi a elektrochemické korozi. Obsahují vyšší množství chromu od 10,5 až 30 % a jiných legur jako jsou nikl do 30%, mangan do 2,5%. Obsah uhlíku v oceli je obecně menší než 1,2%. Oblast použití korozivzdorných ocelí je široká od chemického, potravinářského průmyslu přes automobilový průmysl atd.[1]

Oceli jsou rozděleny podle:

### chemického složení:

- Vysokolegované oceli
- Chromniklové oceli
- Chrommanganové oceli

### struktury oceli:

- Feritické
- Martenzitické
- Austenitické
- Austeniticko-feritické
- precipitačně vytvrditelné- martenzitické a austenitické

### 1.2.1 Feritické oceli

Obsahuje 13-30% Cr a obsah uhlíku je pod 0,1%. Nejsou kalitelné, jsou odolné vůči koroznímu praskání. Ocel je magnetická. Nevýhodou je náchylnost ke křehnutí za vysokých teplot okolo 900°C. Nejsou vhodné u svařovaných konstrukcí, protože při svařování může dojít ke vzniku austenitu, který se při následném ochlazení přemění na martenzit a vede ke křehnutí vlivem hrubnutí zrna. Použití: zařízení v chem. průmyslu např. sedla ventilů, výměňkové trubky, potrubí čerpadel, v ropném průmyslu jako nádrže a kolony.[1]

dělí se na dvě podskupiny:

- oceli s obsahem 11-13 % Cr
- oceli s obsahem 17% Cr

### 1.2.2 Martenzitické oceli

Oceli s obsahem 18% Cr a 1,5%C. Po zakalení vykazují martenzitickou strukturu. Austenitizační teplota leží podle druhu oceli v rozmezí 950-1050°C. Chrom (feritotvorný prvek) snižuje rychlost ochlazování, tudíž i na vzduchu se ocel zakaluje. Svařitelnost je horší než u ostatních korozivzdorných ocelí a zhoršuje se s rostoucím obsahem uhlíku. Nevýhodou tohoto typu ocele je křehnutí, které vzniká při ohřevu na teplotu 350-550°C, a křehnutí způsobené vodíkem, které vzniká při moření nebo při tepelném zpracování v určitých atmosférách. Z těchto ocelí se vyrábí žiletky, lopatky parních turbín, trubky v energetickém a chemickém průmyslu. Odolnost proti kavitaci-součásti čerpadel.[1]

### 1.2.3 Austenitické oceli

Oceli s obsahem uhlíku méně než 0,1% , 16-22% chromu, 8-40% niklu, 0-5% molybdenu. Dostatek austenitotvorných prvků jako jsou mangan, nikl, dusík a uhlík zajišťuje austenitickou strukturu. Výborná svařitelnost.[2]

Austenitické oceli se rozdělují do 3 skupin

- **chrom manganové** (0,02-0,08%C, 10-18%Cr, 3-8%Ni, 14-25%Mn)

U těchto ocelí je drahý nikl nahrazen manganem a dusíkem. Mangan a nikl mají podobné vlastnosti, avšak mangan má nižší houževnatost, tvárnost a svařitelnost za studena. Menší odolnost proti korozi než u ocelí Cr-Ni.[2]

- **chrom mangan-niklové** (0,02-0,15%C, 12-22%Cr, 5-12%Mn, 3-8%Ni)
- **chrom niklové** (0,01-0,15%C, 12-25%Cr, 8-35% Ni)

Nikl stabilizuje austenit i za normálních teplot. Jsou nemagnetické, mají vysokou tažnost a houževnatost [2]

### 1.2.4 Austeniticko-feritické oceli-duplexní

Chemické složení:  $C \leq 0,03\%$ , Cr 21%-26%, Ni 3,5-8%,  $(Mo \leq 4,5\%)$ ,  $N \leq 0,35\%$

Obsahují vyváženou dvoufázovou strukturu se stejnými obsahy feritu a austenitu. Lepší mechanické vlastnosti, vyšší hodnoty meze kluzu než u austenitické ocele. Dobrá odolnost proti důlkové, štěrbinové korozi a proti koroznímu praskání. Mají dobrou svařitelnost a mohou být svařovány pomocí všech známých svařovacích metod. Přidání dusíku zvýší pevnost a zlepšuje svařitelnost.[1]

Z celosvětové výroby korozivzdorných ocelí připadá méně než 2% duplexním ocelím. Důvodem tohoto faktu je jejich obtížná technologie výroby a relativní novost těchto ocelí. Používají se všude tam, kde jsou vysoké nároky na mechanickou pevnost a korozní odolnost např. odsolovací nádrže, plynárenský a ropný průmysl, také nacházejí uplatnění v mostních konstrukcích.[1]

## 1.3 Spojování korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli lze spojit rozebíratelným spojem nebo spojem nerozebíratelným. Práce se zabývá pouze spojem nerozebíratelným, proto nadále nebude zmiňován rozebíratelný spoj.

Pro svaření dvou korozivzdorných ocelí lze použít běžné svařovací postupy s přídavným materiálem, který je vyroben z korozivzdorné oceli. Nelze použít svařovací metodu **MAG** (rozklad  $CO_2$  a nauhličování) [3]

### 1.3.1 Vhodné metody pro svařování korozivzdorných ocelí

#### Svařování elektrickým obloukem:

##### Netavící se elektroda:

- **TIG** (Tungsten Inert Gas) anglický název. Svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře = **WIG** (Wolfram Inert Gas) německý název. Tato metoda byla použita na svaření svařenců, uvedených v praktické části. (ochranné plyn: směs Ar, He a H<sub>2</sub>)
- PAW plazmové obloukové svařování.  
(ochranný plyn: čistý Ar, směs Ar s H<sub>2</sub>(až20%), směs Ar a He)

U svařování feritických, martenzitických nebo duplexních ocelí se nesmí používat směsi obsahující vodík.[3]

##### Tavící se elektroda:

- Svařování tavící se elektrodou v inertním plynu GMAW  
(ochranný plyn Ar s 2% O<sub>2</sub>) (Gas Metal Arc Welding)
- Svařování plněnou elektrodou FLCA (Flux Cored Arc Welding)
- Ruční obloukové svařování SWAM (obalená elektroda)  
(Shielded Metal Arc Welding)
- Svařování pod tavidlem SAW (Submerged Arc Welding)

##### Odporové a indukční svařování

- Odporové bodové svařování RSW (Resistance Spot Welding)
- Švové odporové svařování RSEW (Resistance Seam Welding)
- Výstupkové svařování PW (Projection Welding)
- Elektrostruskové svařování ESW (Electroslag Welding)

##### Svařování světelným zářením

- Svařování elektronovým paprskem EBW (Electron Beam Welding)
- Laserové svařování LBW (Laser Beam Welding).[3]

### 1.3.2 Heterogenní svarový spoj

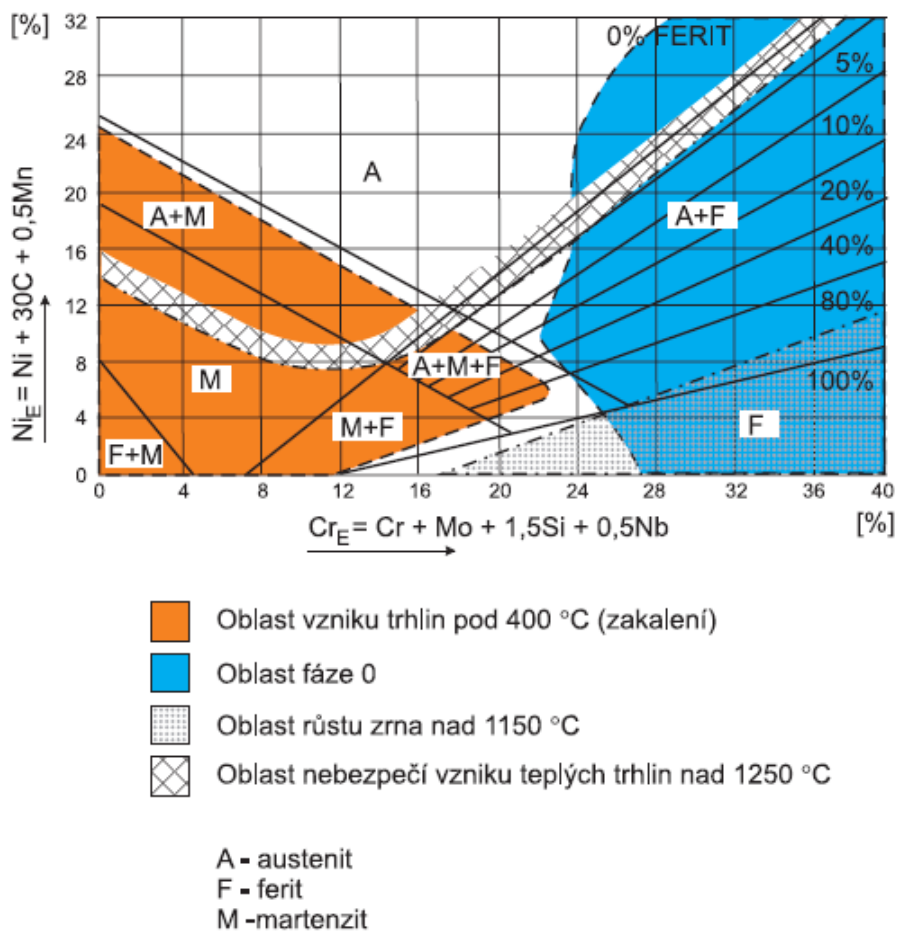
Je to spojení dvou různých materiálů. Spojují se materiály s různým chemickým složením, rozdílnou strukturou, mechanickými vlastnostmi a s různou tepelnou roztažností.

Různé druhy korozivzdorných ocelí lze svařit většinou bez problému, záleží však na výběru přídavného materiálu, který musí mít stejné nebo obdobné mechanické vlastnosti a korozní odolnost. Lze svařovat i korozivzdornou ocel s nelegovanou a nízkolegovanou ocelí. Problémem při svařování je vznik trhlin způsobené vodíkem nebo trhlin za tepla způsobené přídavným materiálem nebo technologií svařování v tepelně ovlivněné oblasti a ve svarovém kovu. Správným výběrem přídavného materiálu můžeme zamezit vzniku křehkých a tvrdých vrstev, které jsou náchylné a na vznik trhlin za tepla.[4]

Při použití nelegované oceli jako přídavného materiálu navařeného na korozivzdornou ocel, vznikne martenzitická struktura.[4]

Při použití korozivzdorné oceli jako přídavného materiálu vznikne stejná mikrostruktura. V obou případech vznikají tvrdé i křehké oblasti s náchylností ke vzniku trhlin. Ideální je struktura austenitická s malým množstvím feritu, která je méně náchylná na vznik trhlin a má vysokou tažnost.[4]

K vybrání ideálního přídavného materiálu lze použít tzv. Schaefflerův diagram, který ukazuje výslednou strukturu pro různé přídavné a základní materiály a jejich svarové kovy.[4]



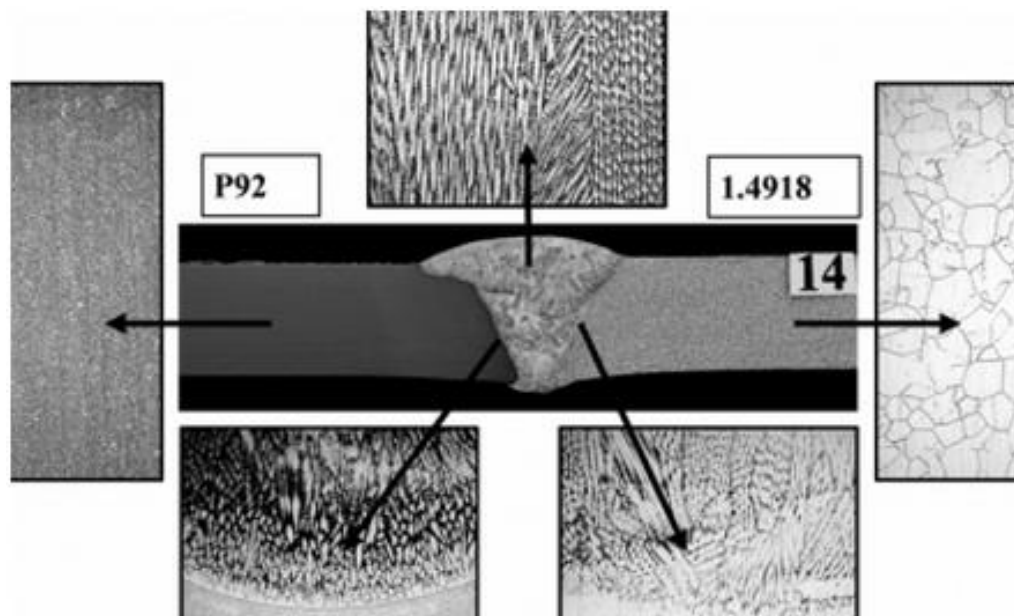
**Obr. 1 Schaefflerův diagram[I]**

### 1.3.3 Příklad heterogenního svarového spoje

Svarový spoj martenzitické oceli a austenitické oceli

Žáropevná ocel P92 X10CrMoVNb9-2 s martenzitickou strukturou

Korozivzdorná ocel E.Nr. 1.4918 X6CrNiMo17-13-2 a austenitickou strukturou



Obr. 2 Svarový spoj ocelí P92 a Wr.N.1.4918[II]

### 1.3.4 Svařování korozivzdorné oceli s méně ušlechtilou ocelí

Z finančních důvodů se v současné době stále více používá kombinace legovaných a nelegovaných materiálů. Touto problematikou se zabýval metalurg Shaeffler, který výsledky svých zkoušek zaznamenal do Schaefflerova diagramu. Díky tomuto diagramu lze určit výslednou strukturu materiálu a může se eliminovat vznik vysokého obsahu feritu, martenzitu nebo zkřehnutí fáze. Příkladem využití spojení nízkolegované oceli s vysokolegovanou ocelí je jaderný reaktor, kde se na vnitřní stěnu reaktoru navažuje vrstva vysokolegované oceli.

Při svařování korozivzdorné oceli s „černou“ nelegovanou ocelí může korozivzdorná ocel korodovat. Je to způsobeno zvýšením obsahu uhlíku v místě svaru, proto je nutné svar očistit a opatřit vhodným nátěrem.

Po svaření je třeba svarový spoj očistit mechanicky např. oklepáním nebo kartáčováním nerezovým kartáčem. Tím se odstraní rozstřík a jiné nečistoty. Následně se svar přebrousí a vyleští. Konečnou úpravou je moření a pasivace.



## 1.4 Moření

Mořením tj. chemickým čištěním nazýváme odstraňování korozních produktů z povrchu kovů. Nejvíce se s mořením setkáváme u ocelí a litin k odstranění okují po tepelném zpracování a náběhových barev, které vznikají při svařování ocelových konstrukcí. Je to nejúčinnější způsob jak dosáhnout kovově čistého povrchu u ocele. Po moření by mělo následovat opláchnutí mořícího prostředku a pasivace pro obnovu protikorozních vlastností povrchu materiálu. Technologický proces moření se skládá:[5]

- Odmaštění a odstranění mechanických nečistot z povrchu ocele
- Moření-doba se liší v závislosti na druhu korozivzdorné oceli, míře znečištění povrchu, teplotě a druhu mořidla
- Opláchnutí vodou mořícího prostředku [5]

Povrch oceli po moření je kovově čistý, bez jakýchkoliv nečistot a povrch je vzhledově sjednocený. Nejčastěji k moření používáme roztoky kyseliny a kyselých solí, méně často alkalických činidel. [5]

### 1.4.1 Metody moření

Máme různé metody moření pro různé výrobky, které dělíme takto:

Podle velikosti:

- Konstrukce a velké plochy
- Vymezené oblasti [6]

Nejvíce používané metody pro moření konstrukčních dílů, konstrukcí a velkých ploch:

- Ponorem v lázni
- Postřikem
- Cirkulací mořidla/proplachem [6]

Nejvíce používané metody pro moření vymezených oblastí např. okolí kolem svarů:

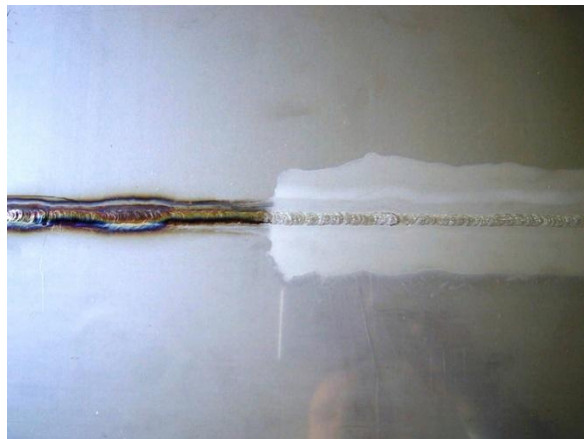
- Nanášení pasty a gelu pomocí štětce
- Elektrochemickým zpracováním [6]

Moření velkých ploch pomocí postřiku se provádí nástřikem mořícího gelu. V případě mastného povrchu je nejprve provedena příprava povrchu odmašťovacím přípravkem. Po moření následuje postřiková pasivace a opláchnutí. Vhodné je využití u rozměrných výrobků přímo na montážním místě. Viz Obr. 3 [6]



**Obr. 3 Moření postřikem[III]**

Moření pomocí pasty, gelu se provádí štětcem, znázorněno na Obr. 4. Je vhodné pro malé díly a svarové spoje. Po nátěru jsou patrné stopy po štětcu, proto se tato metoda používá tam, kde nezáleží na jednotném vzhledu povrchu. Nevýhodou je, že ostatní plochy nejsou ošetřeny. [6]



**Obr. 4 Moření pomocí pasty[IV]**

Moření v lázni na bázi směsi kyselin se používá u tvarově složitějších konstrukcí a dílů. viz. Obr.5. Velikost mořených výrobků je omezena rozměrem mořicí lázně. Výhodou je, že plochy výrobku jsou mořeny najednou a získávají jednotný vzhled. [6]



**Obr. 5 Mořicí lázeň[V]**

## 1.5 Koroze

Ochrana materiálu uvedena v předchozí kapitole má zabránit následujícímu diskutovanému problému degradace materiálu-korozi.

Korozi můžeme definovat jako samovolně probíhající nevratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálů chemickými a fyzikálně-chemickými vlivy prostředí. Koroze u kovu se může projevit úbytkem a změnou materiálu, změnou mechanických vlastností např. pevnost, tažnost, vznik mikrotrhlin a po čase i poškozením struktury např. korozní praskání.[5]

Korozní činitelé, kteří mají vliv na vznik koroze. Lze je rozdělit na:

- Vnitřní
  - Čistota kovu
  - Chemické složení
  - Způsob zpracování
  - Stav povrchu
  
- Vnější
  - Složení korozního prostředí
  - Parametry prostředí
  - Pohyb prostředí
  - Mechanické namáhání

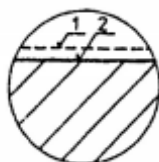
Korozi lze rozdělit z hlediska:

- Typu napadení
- Charakteru korozního děje
- Korozního prostředí[5]

### Druhy korozního napadení:

#### 1.5.1 Rovnoměrná koroze

Způsobuje rovnoměrný úbytek po celé exponované ploše. Z hlediska spolehlivosti je tato koroze nejpříznivější, protože je možné experimentálně stanovit rychlost úbytku a konstruovat zařízení s ohledem na korozní rychlost. Dále pak je možné tohoto jevu využít při ochraně materiálu umělým zesílením této vrstvy (např. eloxování). [5]



Obr. 6 Rovnoměrná koroze[VI]

### 1.5.2 Nerovnoměrná koroze

Koroze probíhá pouze na části povrchu nebo i uvnitř materiálu. Tento druh napadení se hůře předpovídá a degradace materiálu probíhá v kratší době. Je nežádoucí s nízkou možností ochrany.[2]

**Mezi nerovnoměrné koroze patří:**

- **Důlková a bodová koroze**

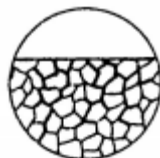
Vzniká poškozením pasivní vrstvy, ve které následně vznikají důlky různé hloubky a úzkým hrdlem. Vzniká zejména u kovů, které jsou snadno pasivovatelné, jako je železo, chrom, hliník, korozivzdorné oceli atd. Důlková koroze se od bodové liší v průměru důlku, který je větší než jeho hloubka. [2]

- **Štěrbínová koroze**

Dochází k ní v jemných kapilárách nebo štěrbinách se špatným oběhem elektrolytu, kde následně klesá obsah kyslíku v roztoku a povrch štěrbin se stává anodou, převládá oxidace kovu. V praxi vzniká mezi dvěma kovy spojenými bodovým svarem, nýtem, šroubovým spojem atd. [2]

- **Mezikrystalová koroze**

Tento druh koroze se objevuje především u korozivzdorných a austenitických ocelí. Je způsoben snížením množství chromu v okolí hranice zrn, pod 12% tedy pod hranici pasivace. Toto snížení obsahu chromu je způsobeno precipitací karbidů s vysokým obsahem chromu na hranicích zrn. Precipitace probíhá při ohřevu v oblasti teplot 500 až 800°C např. při svařování. Tento proces se nazývá zcitlivění. Koroze je způsobena vyšší rychlostí koroze po hranicích zrn, než vlastního zrna. [2]



Obr. 7 Mezikrystalová koroze[VII]

- **Selektivní napadení**

U slitin s dvou a více fázovými strukturami. Koroze se zaměřuje pouze na jedinou fázi. Např. u austeniticko-feritických korozivzdorných ocelí, kdy je austenit rozpouštěn, zatímco ferit je odolnější. Vyskytuje se i dvoufázové mosazi a je též nežádoucí.[7][5]



Obr. 8 Selektivní napadení[VIII]

### 1.5.3 Chemická koroze

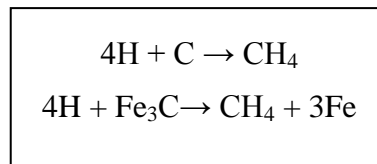
Probíhá v elektricky nevodivém prostředí, jako jsou plyny, které mají oxidační či redukční povahu. Dochází k chemickým reakcím mezi kovem a prostředím a vzniku oxidační vrstvy, která má za následek difuzi iontů kovů na povrch této vrstvy a difuze kyslíku přes tuto vrstvu

na povrch kovů. Rychlost oxidace je dána rychlostmi těchto dvou difúzních procesů. Příčinou je termodynamická nestálost kovů v různém prostředí. Prvotním stádiem oxidace je adsorpce molekul kyslíku na povrchu. Nejvíce dochází k oxidaci kovů, především oceli, v přehřáté páře anebo při jeho ohřevu. U některých neželezných kovů dochází ke vzniku oxidační vrstvy, která brání korozi proniknout hlouběji do materiálu. Tato vrstva vzniká například u hliníku  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nebo u mědi, kde působením kyslíku, atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého vzniká tzv. měděnka (pasivace)  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  [9]

Koroze redukčními plyny je většinou způsobena difúzí redukujících plynů do kovu a reakcí s nekovovými složkami materiálu. Na povrchu nevznikají korozní zplodiny. Příklad je působení vodíku v oceli, kde vznikají dvě poškození [5]

- **vodíková koroze**

Případ chemické koroze, kdy ocel pohlcuje atmosférický vodík, který reaguje s uhlíkem rozpuštěným v tuhé fázi ocele za vzniku metanu viz. rovnice (1.1) [5]



**Tab. 1 Rovnice**

Dochází k oduhličení a vzniku metanu, který nemůže v oceli difundovat a hromadí se v místě poruchy, kde vzniká vnitřní pnutí, které vede ke vzniku trhlin a snížení mechanických vlastností ocele [8]

- **vodíková křehkost**

Je vyvolána vodíkem rozpuštěným v oceli. Atomy vodíku (kationty  $\text{H}^+$ ) snadno difundují do struktury oceli např. při moření a povlakování. Hromadí se většinou v pórech, trhlinách nebo na rozhraní fází. Mají tendenci vystupovat z krystalické mřížky a přecházet do molekulární formy. Hromaděním vodíku v jednom místě se zvyšuje tlak. Projevuje se ztrátou pevnosti ocele. Je nebezpečná, protože probíhá pod povrchem. Lze odstranit vhodným tepelným zpracováním. [5]



**Obr. 9 Mechanismus vzniku vodíkové křehkosti [IX]**

1-transport molekul  $\text{H}_2$ , 2- disociace molekul  $\text{H}_2$ , 3- transport atomů H, 4-difúze atomů H do povrchu, 5-difúze atomů H strukturou kovu

#### 1.5.4 Elektrochemická koroze

Jedná se o korozi, kde jsou dva různé kovy ve styku s elektrolytem např. roztoky solí, kyselin zásad čímž vznikne makročlánek. V praxi je velice nebezpečné spojení ušlechtilého a méně ušlechtilého materiálu např. spojení ocelových plechů měděnými nýty. Korozní reakce je rozdělena na[5]:

- **anodickou reakci**

Dochází k oxidaci kovu, kdy je kladný náboj přenášen z kovu do elektrolytu. jedná se o reakci oxidační.[5]

- **katodickou reakci**

Též nazývaná depolarizační, dochází k redukci některých složek korozního prostředí spotřebováním elektronů. Redukce kyslíku rozpuštěného v elektrolytu (koroze s kyslíkovou depolarizací), vybíjení iontů vodíku (koroze s vodíkovou depolarizací). Obě reakce probíhají současně. Elektrony uvolněné při anodické reakci jsou spotřebované při katodické reakci.[5]

#### 1.6 Pasivace

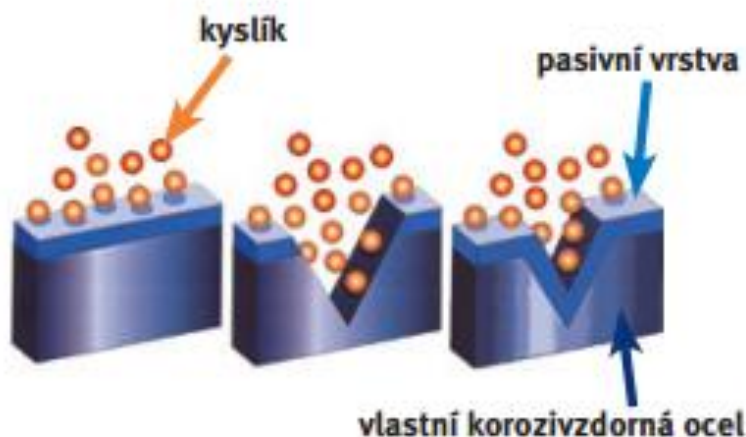
Odolnost korozivzdorné oceli spočívá v pasivační vrstvě, která se tvoří na povrchu ocele. Jde o normální stav povrchu korozivzdorných ocelí. K pasivaci ocelí dochází, když je povrch oceli vystaven vlivu vnějšího okolí bohatého na kyslík. Pasivace probíhá automaticky, pokud na povrch ocele působí dostatečné množství kyslíku, díky čemu si korozivzdorná ocel zachovává antikorozi povrch i při mechanickém poškození např. rýhy mechanické zpracování. Tloušťka této oxidické vrstvy je závislá na době působení prostředí.[10]

Ke vzniku pasivní vrstvy dochází dvěma způsoby:

- **autopasivace**

Pasivační vrstva se tvoří při kontaktu s atmosférickým kyslíkem. Ke vzniku vrstvy dojde během několika dní. Tento proces je vhodný pro běžné použití legovaných antikorozi ocelí. Důležitý je především obsah chromu v oceli. Oceli musí minimálně obsahovat 10,5 % chromu a uhlík v oceli nesmí překročit 1,2%. Odolnost proti korozi lze zvýšit přidáním dalších legujících prvků, jako jsou molybden, nikl, dusík a titan.[10]

samočinná obnova pasivační vrstvy:



Obr. 10 Mechanismus samoobnovy[X]

- použití pasivačního prostředku

Při použití pasivačního prostředku dojde okamžitě ke vzniku pasivní vrstvy, která je několikanásobně silnější než při autopasivaci. Tento způsob se provádí u korozivzdorných ocelí v energetice a chemickém průmyslu. Způsob nanášení pasivačního roztoku je obdobný jako u moření v lázni nebo postříkem.[11]

## 1.7 Korozní zkoušky

V současné době víme stále víc o faktorech, které řídí korozní procesy, a dokážeme do jisté míry předpovídat chování materiálu v korozním prostředí. Většina informací o vzniku koroze a chování materiálu v korozním prostředí získáváme experimentálně. Takto získávané informace v laboratorních či provozních podmínkách lze nazvat **korozní zkouška**. Neexistuje žádná univerzální korozní zkouška. Druh zkoušky je vázán na typ korozního systému, a druh koroze, která je příčinou porušení.[12]

Korozní zkoušky se rozdělují na dvě základní skupiny:

- Zkouška laboratorní
- Zkouška provozní

U laboratorních zkoušek se pracuje s malými vzorky a s malými objemy korozního prostředí, díky tomu lze zkoušku provádět za přesně definovaných podmínek. Vhodné pro vědecko-výzkumné a přijímací testy.[12]

U zkoušek provozních se vzorky materiálu odebírají z částí provozního zařízení.

**Proč se provádí korozní zkoušky:**

- Určení příčiny selhání
- Výběr vhodného materiálu nebo protikorozní ochrany pro konkrétní prostředí
- Kontrola stavu zařízení za provozu
- Vývoj nových druhů protikorozní ochrany a materiálů
- Základní výzkum [12]

### **Principy hodnocení korozních zkoušek:**

Hodnocení vzhledu

Hodnocení hmotnostních (váhový úbytek) změn

Metalografické hodnocení

Hodnocení změn mechanických vlastností [12]



**Obr. 11 Korozní komora[XI]**



## 2 Experimentální část

Cílem této práce je zjištění vlivu mořícího prostředku na povrch heterogenního svaru. Tento vliv byl pozorován pomocí změny drsnosti svaru a svařovaných materiálů před a po moření. Dalším cílem bylo posoudit vliv moření na korozní odolnost povrchu v okolí svaru.

Byly prováděny tyto experimenty v následných krocích:

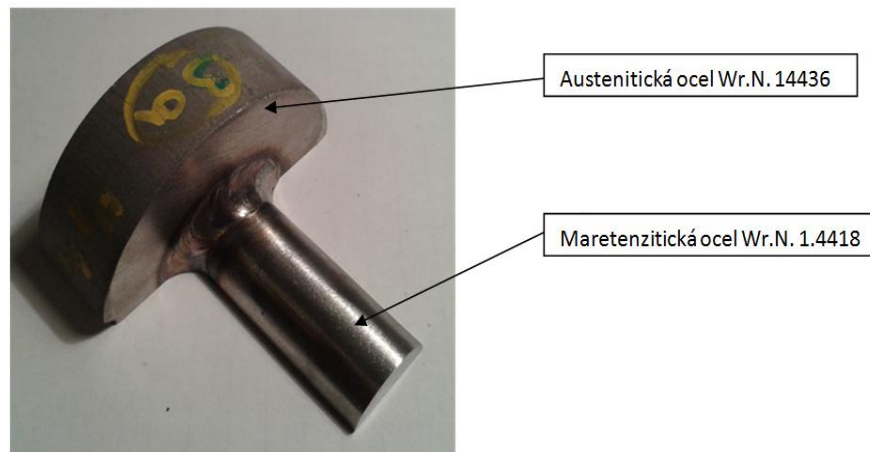
- Měření drsnosti jednotlivých vzorků před mořením
- Moření vzorků v mořící lázni obsahující Inhibitor P29
- Moření vzorků v mořící lázni obsahující peroxid vodíku
- Měření drsnosti jednotlivých vzorků po moření v jednotlivých mořících lázních
- Porovnání změn povrchových drsností jednotlivých částí vzorků
- Zkouška korozní odolnosti v korozní komoře podle ČSN EN ISO 10289
- Měření chemického složení spojovaných materiálů a svaru
- Měření mikrotvrdosti

## 2.1 Zhotovení vzorků ze svařence

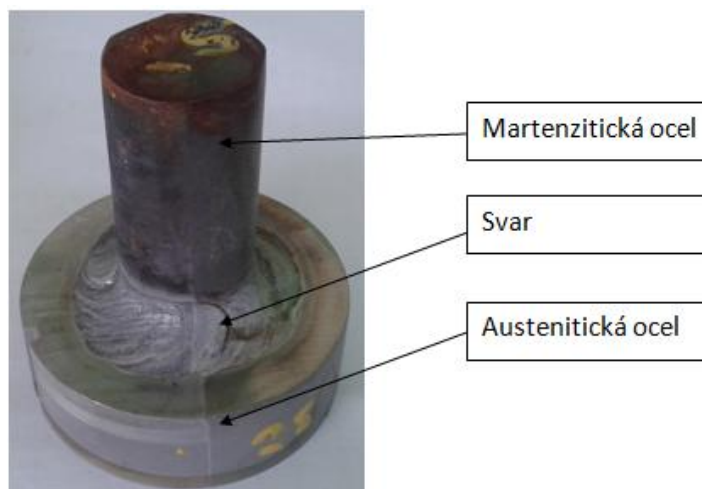
Vzorek je heterogenní svařenec dvou korozivzdorných ocelí a to ocele austenitické ČSN 17352 (Wr.N. 1.4436) a ocele martenzitické ČSN 17022 (Wr.N. 1.4418). Tyto dvě ocele byly svařeny metodou TIG (Tungsten Inert Gas) velikost proudu 150[A] přídatný materiál drát 22CrNi5.

Dále byl zhotoven vzorek z duplexní ocele ČSN 17381 (Wr.N. 1.4462). Vzorky z duplexní ocele byly zhotoveny z důvodu, že tato ocel může být vhodnou alternativou při nahrazení martenzitické ocele svařence.

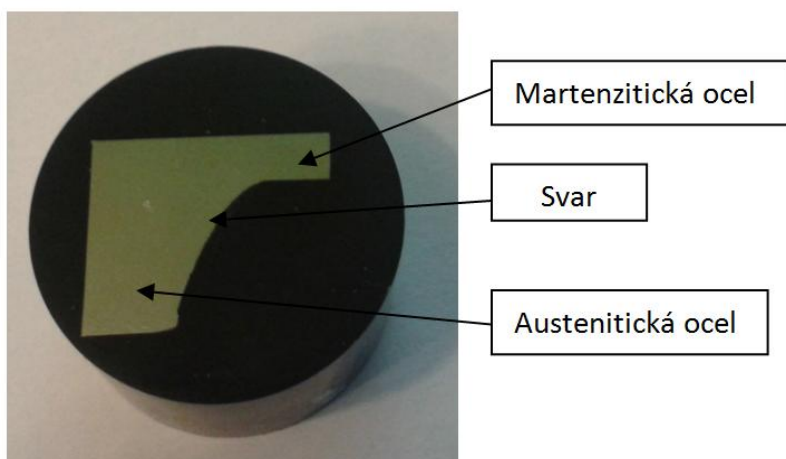
Svařence byly nařezány na metalografické pile na požadovanou velikost a následně zality v metalografickém lisu. Bylo zhotoveno 15 vzorků ze svařence korozivzdorných ocelí a 9 vzorků z duplexní ocele.



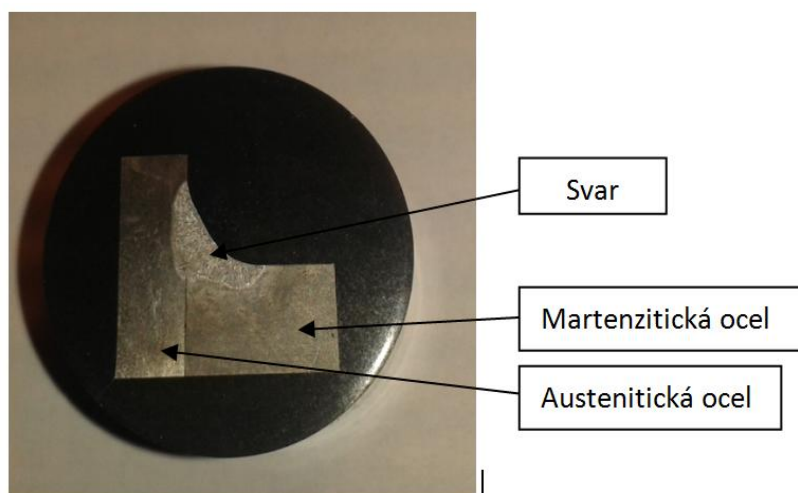
Obr. 12 Svařenec v dodaném stavu



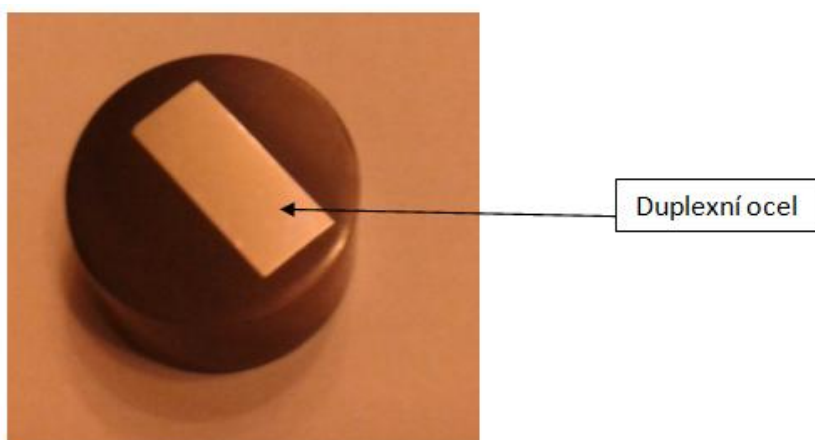
Obr. 13 Svařenec v dodaném stavu



Obr. 14 Vzorek před mořením



Obr. 15 Vzorek po moření (Inhibitor P29)



Obr. 16 Duplexní ocel

## 2.2 Moření

K moření vzorků byly použity dvě různé mořící lázně. V každé z nich se vždy mořilo 5 vzorků se svarem a 3 vzorky duplexní ocele bez svaru. Tento postup byl volen pro sjednocení podmínek moření.

### 2.2.1 Mořící lázeň s Inhibitorem, P29

První mořící lázeň s Inhibitorem P29 má složení:

18% Inhibitor P29 + 18% HNO<sub>3</sub> + 18% HCl + 54% H<sub>2</sub>O

Je to roztok dodaný externí firmou. Složení není známo. Používá se na moření korozivzdorných ocelí.

Vzorky byly před mořením očištěny a odmaštěny. Po vysušení se vzorky naskládaly do kádinky, tak aby se mořené plochy nedotýkaly stěn a ostatních vzorků. Následně se namíchalo mořidlo. Moření probíhalo při pokojové teplotě a vzorky byly mořeny po dobu 10min. Poté byly vzorky opláchnuty pod tekoucí vodou.

Po odmoření byla znova změřena drsnost povrchu u jednotlivých vzorků. Z měření vyplývá, že moření má vliv na zvýšení drsnosti. Bylo zjištěno, že přednostně byla odmořena martenzitická část vzorku a byla zde naměřena nejvyšší drsnost a to při použití mořící lázně s Inhibitorem P29. U ostatních ploch se drsnost téměř nezměnila a vizuálně zůstaly stejné.

### 2.2.2 Mořící lázeň s peroxidem vodíku

První mořící lázeň s Inhibitorem P29 má složení:

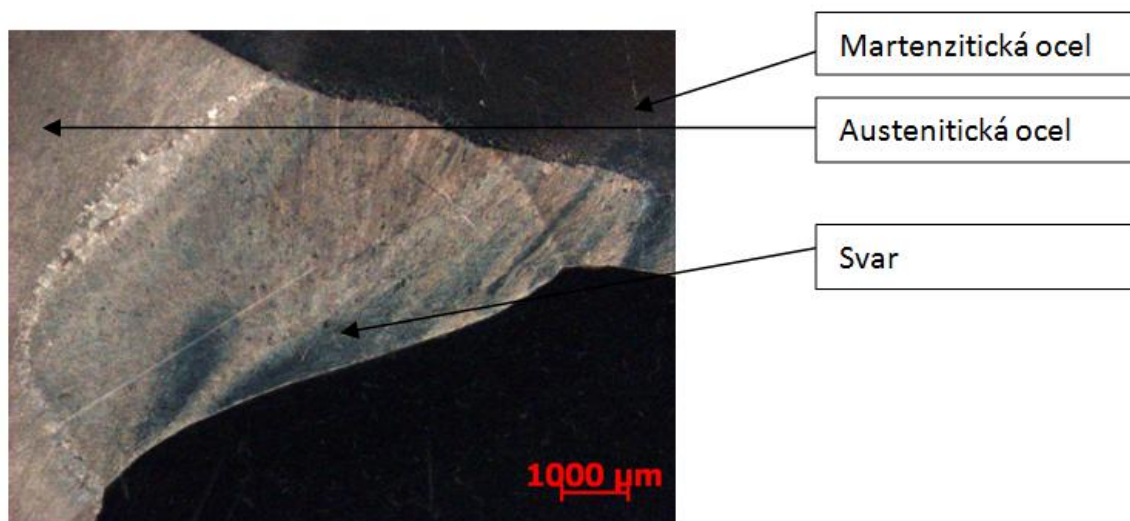
18% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 18% HNO<sub>3</sub> + 18% HCl + 54% H<sub>2</sub>O

Postup přípravy této mořící lázně byl stejný, ale na místo Inhibitoru P29 byl použit peroxid vodíku H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Moření vzorků proběhlo velmi rychle, při pokojové teplotě trvalo cca 5 sekund.

Po použití vlastní mořící lázně byly plochy výrazně víc odmořeny než při použití Inhibitoru P29. Drsnost byla výrazně vyšší. Nejvíce byla odmořena část z austenitické ocele a byla zde naměřena nejvyšší drsnost.

### 2.2.3 Povrch po odmoření Inhibitor P29

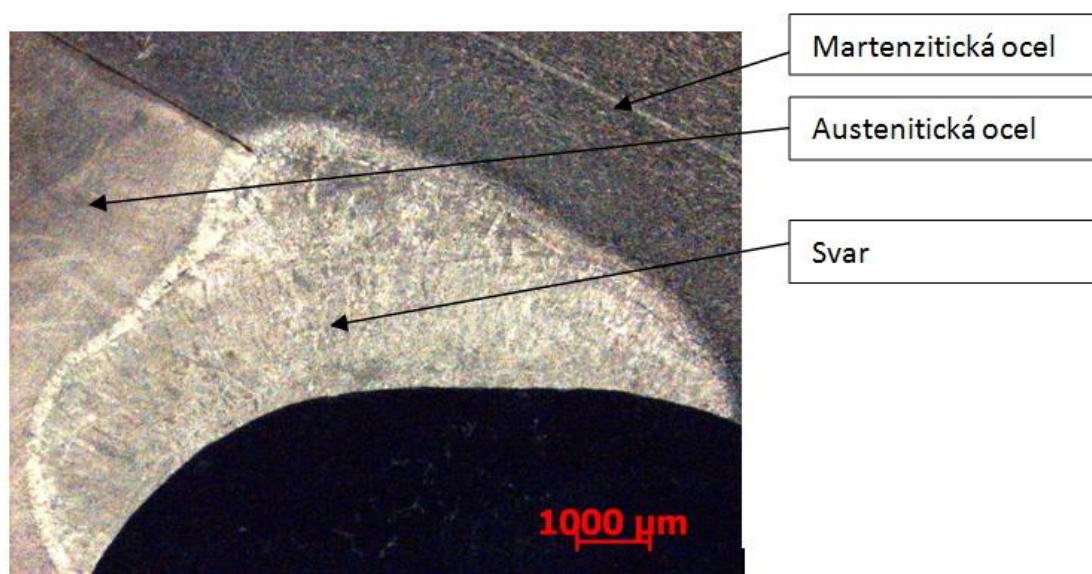
Na tomto snímku je vzorek po odmoření v lázni s Inhibitorem P29. Je zde vidět výrazný rozdíl mezi mořenými částmi. Část s martenzitickou ocelí je odmořena nejvíce a zde byla naměřena nejvyšší drsnost. Na zbylých částech se moření příliš neprojevovalo a drsnost byla téměř stejná jako před mořením. Snímky byly pořízeny na konfokálním mikroskopu. Je zde i viditelná stopa po moření drsnosti povrchu.



Obr. 17 Vzorek po odmoření Inhibitor P 29

### 2.2.4 Povrch po odmoření ve vlastní lázni

Na snímku je vidět struktura vzorku po odmoření v mořicí lázni s peroxidem vodíku. Je zde vidět narušení povrchu ve všech třech oblastech. Změna drsnosti byla nejvýraznější v oblasti svaru a austenitické části vzorku, zde byla naměřena nejvyšší drsnost. I zde je viditelná stopa po moření drsnosti povrchu.



Obr. 18 Vzorek po odmoření vlastní lázeň

## 2.3 Měření drsnosti povrchu jednotlivých ploch vzorků

Z důvodu potřebnosti sledovat změny povrchu kvantitativním způsobem bylo upuštěno od vyhodnocování drsnosti pomocí konfokálního mikroskopu. Proto měření drsnosti povrchu bylo provedeno na přístroji Mahr M300.



Obr. 19 Drsnoměr Mahr M300

Měření drsnosti povrchu bylo provedeno na všech zhotovených vzorcích. Byla změřena drsnost na jednotlivých vzorcích před mořením po vyleštění a opětovně byla měřena drsnost po moření v jednotlivých lázních. Poslední měření drsnosti bylo provedeno po ukončení korozní zkoušky v korozní komoře.

### 2.3.1 Naměřené hodnoty

Vzorek č.	Austenitická ocel			Martenzitická ocel			Svar			Duplexní ocel		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	0,012	0,133	0,028	0,137	0,048	0,028	0,016	0,023	0,012	0,025	0,021	0,028
2	0,174	0,023	0,027	0,042	0,157	0,027	0,212	0,179	0,014	0,018	0,032	0,034
3	0,015	0,058	0,015	0,012	0,013	0,015	0,013	0,031	0,014	0,023	0,019	0,026
4	0,018	0,019	0,014	0,013	0,013	0,014	0,017	0,021	0,019	/	/	/
5	0,012	0,013	0,027	0,014	0,015	0,027	0,019	0,016	0,034	/	/	/
Ra =	<b>0,046</b>	<b>0,049</b>	<b>0,022</b>	<b>0,044</b>	<b>0,049</b>	<b>0,022</b>	<b>0,055</b>	<b>0,054</b>	<b>0,019</b>	<b>0,022</b>	<b>0,024</b>	<b>0,029</b>

Tab. 2 Drsnost povrchu- vzorky před mořením

Vzorek č.	Austenitická ocel			Martenzitická ocel			Svar			Duplexní ocel		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	0,071	/	/	0,092	/	/	0,065	/	/	0,072	/	/
2	0,051	/	/	0,177	/	/	0,073	/	/	0,022	/	/
3	0,063	/	/	0,424	/	/	0,136	/	/	0,028	/	/
4	0,039	/	/	0,203	/	/	0,063	/	/	/	/	/
5	0,069	/	/	0,222	/	/	0,098	/	/	/	/	/
Ra =	<b>0,059</b>	/	/	<b>0,224</b>	/	/	<b>0,087</b>	/	/	<b>0,041</b>	/	/

Tab. 3 Drsnost povrchu-mořeno Inhibitor P29



Vzorek č.	Austenitická ocel			Martenzitická ocel			Svar			Duplexní ocel		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
1	/	0,523	/	/	0,382	/	/	0,532	/	/	0,083	/
2	/	0,866	/	/	0,307	/	/	0,454	/	/	0,026	/
3	/	0,596	/	/	0,252	/	/	0,506	/	/	0,021	/
4	/	0,65	/	/	0,195	/	/	0,736	/	/	/	/
5	/	0,634	/	/	0,23	/	/	0,327	/	/	/	/
Ra =	/	<b>0,654</b>	/	/	<b>0,273</b>	/	/	<b>0,511</b>	/	/	<b>0,043</b>	/

Tab. 4 Drsnost povrchu-mořeno mořící lázeň s peroxidem vodíku

Vzorek č.	Austenitická ocel			Martenzitická ocel			Svar			Duplexní ocel		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
1	0,115	0,654	0,036	0,415	0,396	0,034	0,092	0,420	0,031	0,084	0,094	0,039
2	0,164	0,661	0,041	0,259	0,262	0,047	0,089	0,701	0,034	0,052	0,030	0,046
3	0,196	0,598	0,036	0,267	0,392	0,031	0,117	0,671	0,068	0,065	0,025	0,030
4	0,054	0,821	0,055	0,436	0,353	0,032	0,211	0,614	0,058	/	/	/
5	0,133	0,741	0,038	0,332	0,302	0,042	0,198	0,591	0,053	/	/	/
Ra =	<b>0,132</b>	<b>0,695</b>	<b>0,041</b>	<b>0,342</b>	<b>0,341</b>	<b>0,037</b>	<b>0,141</b>	<b>0,599</b>	<b>0,049</b>	<b>0,067</b>	<b>0,050</b>	<b>0,038</b>

Tab. 5 Drsnost povrchu-po zkoušce korozní odolnosti

Značení v Tab. 2-5 : I- Vzorky mořené v mořící lázni s peroxidem vodíku

II-Vzorky mořené v mořící lázni s Inhibitorem P29

III-Nemořené vzorky

### 2.3.2 Výsledné hodnoty získané z naměřených hodnot

	Nemořeno	mořeno Inhibitor P29	mořeno peroxid vodíku
Austenitická část	Ra= 0,02	Ra=0,06	Ra=0,65
Martenzitická část	Ra=0,02	Ra=0,22	Ra=0,27
Plocha svaru	Ra=0,02	Ra=0,09	Ra=0,51
Duplexní ocel	Ra=0,03	Ra=0,04	Ra=0,04

Tab. 6 Výsledné hodnoty-moření

Z naměřených hodnot drsnosti povrchu lze vyvodit, že moření má vliv na změnu drsnosti svařovaných částí i samotného svaru. Každá z mořících lázní má odlišný vliv na odmoření ocelí. U mořící lázně, kde je použit Inhibitor P29, byla přednostně napadena martenzitická část. U austenitické a svarové části vzorku napadení mořidlem se neprojevovalo, drsnost se nezměnila. Při použití mořící lázně s peroxidem vodíku byly výrazně napadeny všechny části vzorku. Drsnost se zvýšila na všech částech, nejvíce na austenitické části.

## 2.4 Zkouška korozní odolnosti

Po odmoření a změření drsnosti na všech vzorcích byly vzorky dány do korozní komory, kde na ně působilo korozní prostředí ve formě solné mlhy po dobu 96 hodin a kondenzační mlha po dobu 96 hodin.

Na Obr. 20 je vidět rozmístění vzorků v korozní komoře. Tento druh zkoušky simuluje působení mořské vody.

Parametry v korozní komoře	
Použité medium	solná mlha
Shromažďování solné mlhy z vodorovného sběrače (80cm <sup>2</sup> )	1,5ml/h $\pm$ 0,5 ml/h
Obsah chloridu sodného	50g/l $\pm$ 5g/l
pH roztoku	6,5 až 7,2

Tab. 7 Parametry korozní komory

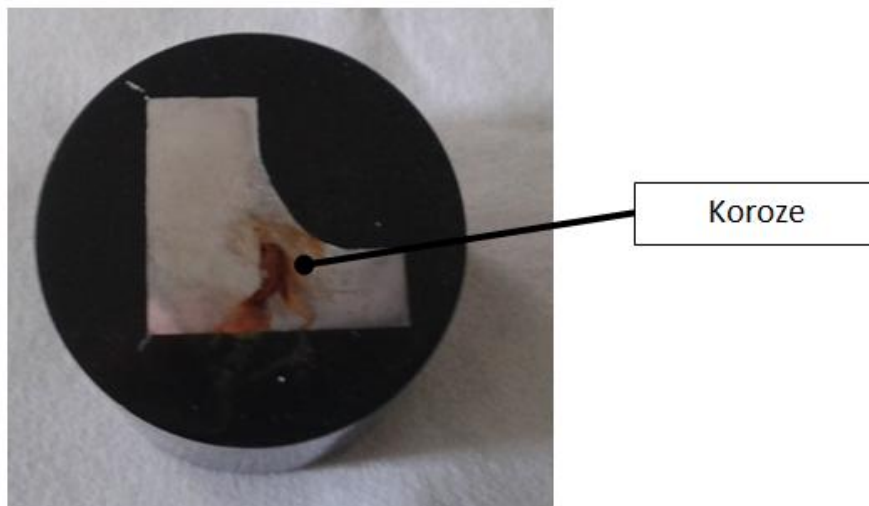


Obr. 20 Vzorky v korozní komoře



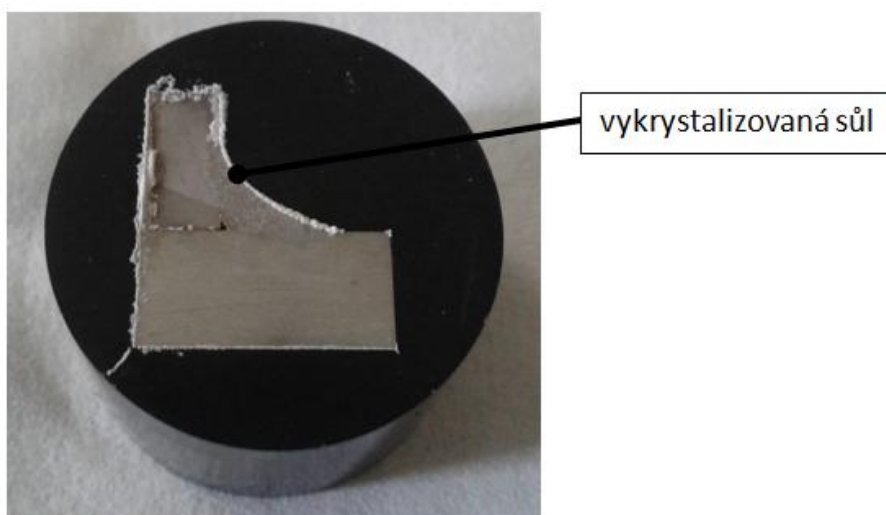
## 2.5 Vyhodnocení vzorků po zkoušce korozní odolnosti

Na většině vzorků nebyly viditelné žádné větší stopy po korozním napadení. Pouze na několika vzorcích byl patrné stopy koroze, která byla patrně způsobena nečistotami mezi svařovanými plochami, Tyto plochy nemohly být odmořeny ani jinak upraveny.



Obr. 21 Vzorek po zkoušce v korozní komoře

Na některých vzorcích, které byly vystaveny v korozní komoře solné mlže, začala krystalizovat sůl. Na Obr. 22 je vidět bílé proužky na rozhraní spojovaných materiálů. Tento korozní produkt se utvářel z látek vyvzlínajících mezi vzorkem a zalisovací hmotou. Z tohoto důvodu také bylo upuštěno od měření hmotnostních úbytků, protože by docházelo ke značným nepřesnostem.



Obr. 22 Vzorek po zkoušce v korozní komoře

## 2.6 Drsnost po korozní zkoušce

Naměřené hodnoty po zkoušce v korozní komoře:

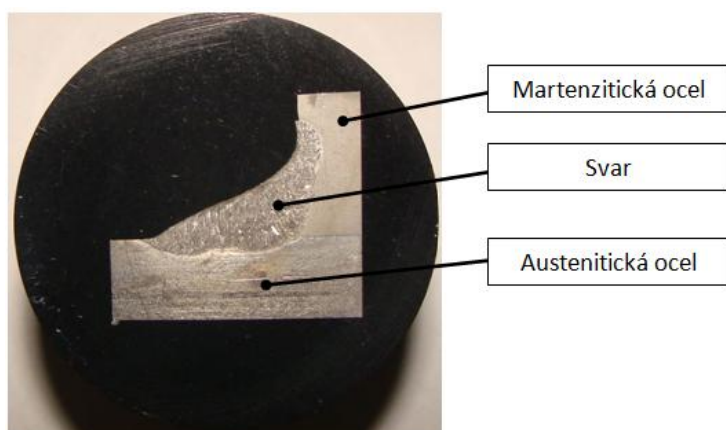
	Nemořeno	mořeno Inhibitor P29	mořeno peroxid vodíku
Austenitická část	Ra=0,04	Ra=0,13	Ra=0,70
Martenzitická část	Ra=0,04	Ra=0,34	Ra=0,34
Plocha svaru	Ra=0,05	Ra=0,14	Ra=0,60
Duplexní ocel	Ra=0,04	Ra=0,07	Ra=0,05

Tab. 8 Hodnoty drsnosti povrchu po zkoušce korozní odolnosti

Naměřené hodnoty po zkoušce v korozní komoře jsou nepatrně vyšší než před vložením do korozní komory. Drsnost se zvýšila u všech vzorků, největší změna byla na povrchu částí s větší drsností. Zvýšení drsnosti povrchu mohly způsobit korozní produkty nebo nerovnosti na povrchu, kde se mohly tvořit krystaly soli. Výskyt krystalků na povrchu byl předpokládán. Bohužel nebyly k dispozici přesné váhy, aby se změnil přírůstek či ztráta hmotnosti vzorků.

## 2.7 Chemická analýza

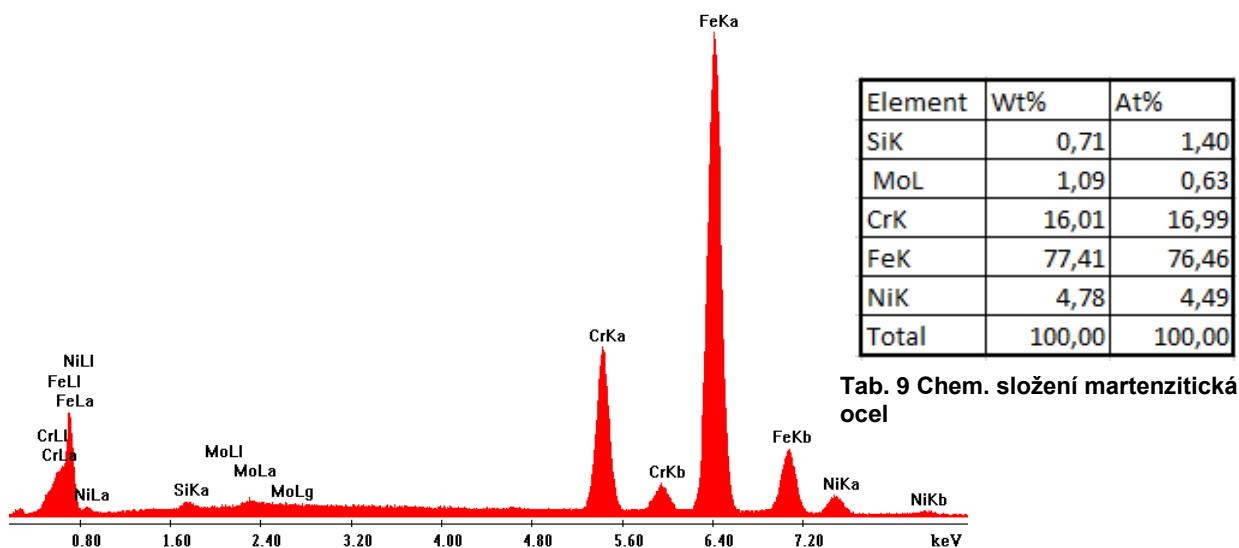
Byla provedena chemická analýza jednotlivých částí vzorků, která se provedla na přístroji EDAX (energievě disperzní mikroanalýzátor) umístěn na řádkovacím elektronovém mikroskopu PHILIPS XL30.



Obr. 23 Vzorek-mořeno Inhibitor P29

Chemická analýza se prováděla proto, abychom zjistily jaké chemické složení má svar a jak se liší od spojovaných materiálů.

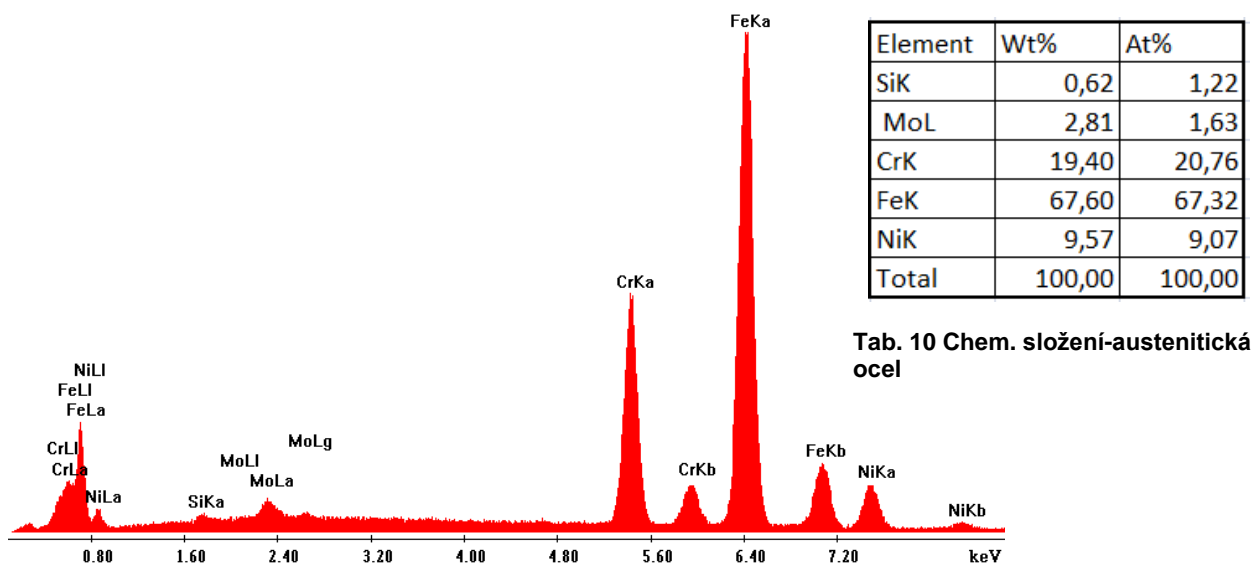
### 2.7.1 Martenzitická ocel



Tab. 9 Chem. složení martenzitická ocel

Obr. 24 Chemické složení-martenzitická ocel

### 2.7.2 Austenitická ocel



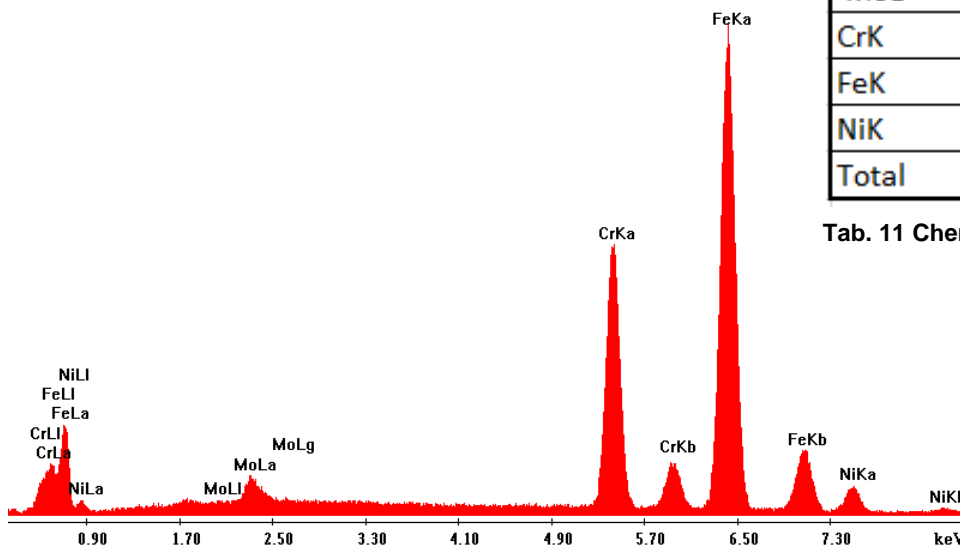
Tab. 10 Chem. složení-austenitická ocel

Obr. 25 Chemické složení-austenitická ocel

### 2.7.3 Svar

Element	Wt%	At%
MoL	3,94	2,30
CrK	23,48	25,26
FeK	67,30	67,41
NiK	5,28	5,03
Total	100,00	100,00

Tab. 11 Chemické složení-svar



Obr. 26 Chemické složení-svar

## 2.8 Měření tvrdosti

Tvrdoost byla měřena na mikrotvrdoměru

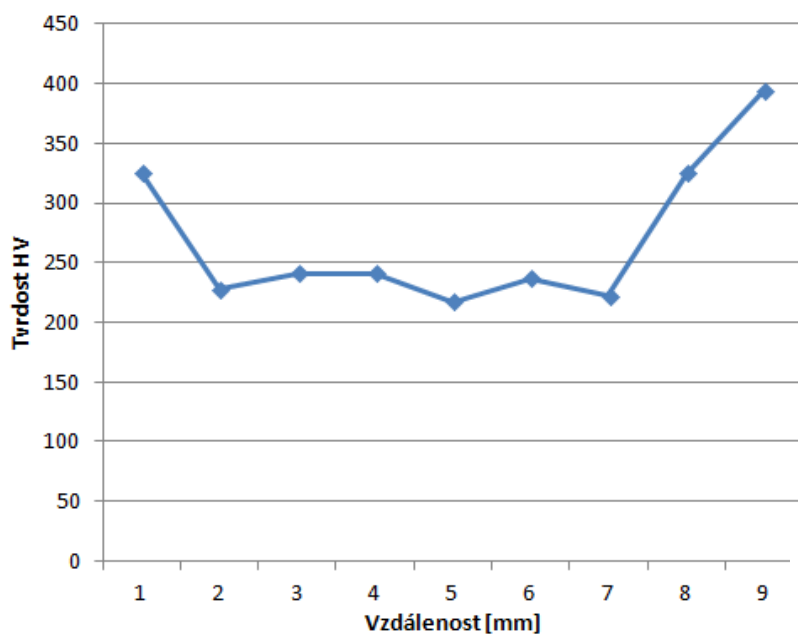
UHL VMHT MOT 002V.

Zatížení indentoru 20[N]

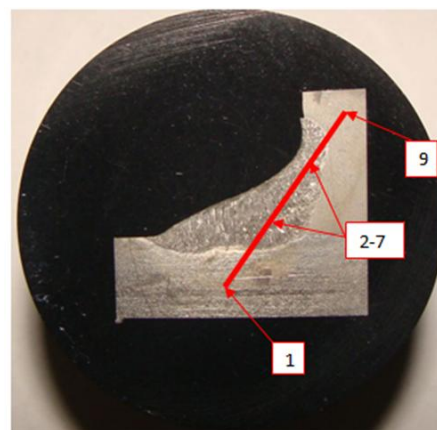


Obr. 27 Tvrdoměr

Tvrdoost byla měřena nejdříve v austenitické části náslepně ve svaru a nakonec v martenzitické části vzorku. Měřená místa jsou vždy od sebe vzdálena 1mm, postup měření je znázorněný na Obr.29. Naměřené hodnoty jsou zanesené do grafu.



Obr. 28 Mikrotvrdoost



- 1 Austenitická ocel
- 2-7 Svar
- 8-9 Martenzitická ocel

Obr. 29 Vzorek-měření mikrotvrdosti

### 3 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjištění vlivu mořícího prostředku na povrch heterogenního svaru, zjištění změny drsnosti před a po moření. Dalším cílem bylo posoudit vliv moření na korozní odolnost povrchu v okolí svaru.

Vzorky byly zhotoveny z dodaného zkušebního kusu svařence. Následně bylo provedeno měření drsnosti na zhotovených vzorcích. Svařenec byl z nerezových ocelí-austenitické oceli ČSN 17352 (Wr.N. 1.4436) a martenzitické oceli ČSN 17022 (Wr.N. 1.4418). Kromě těchto dvou ocelí byly zhotoveny i vzorky z duplexní oceli ČSN 17381 (Wr.N. 1.4462).

Vzorky byly rozděleny do 3 skupin. Na nemořené, mořené v mořící lázni s peroxidem vodíku a mořené v mořící lázni s Inhibitorem P29. Mořící lázně s peroxidem vodíku o chemickém složení 18% $H_2O_2$  + 18%  $HNO_3$  + 18% $HCl$  + 54%  $H_2O$ , byla namíchána dle předešlých experimentů, které se zabývaly problematikou moření heterogenních materiálů. Moření proběhlo při pokojové teplotě po dobu cca 5 sec. Při moření došlo k výraznému odmoření všech 3 částí vzorku. Největší změna drsnosti byla naměřena na austenitické části vzorku. Nevýhodou mořící lázně s peroxidem vodíku je udržení konstantního chemického složení, protože během chemické reakce se vyplavuje peroxid vodíku z roztoku. Další nevýhodou použití této lázně je velmi krátká doba moření. Při ponechání součásti o něco delší dobu v lázni zapříčiní degradaci jejího povrchu a zčernání. Druhá mořící lázeň obsahuje Inhibitor P29, jenž byl dodán externí firmou a složení není známo. Chemické složení mořící lázně je obdobné jako u první, ale peroxid vodíku je nahrazen Inhibitorem P29. 18%Inhibitor P29 + 18%  $HNO_3$  + 18% $HCl$  + 54%  $H_2O$ . Moření proběhlo při pokojové teplotě po dobu cca 10 min. Výrazněji odmořena byla pouze martenzitická část vzorku. Austenitická část a svar byly vizuálně méně odmořeny než martenzitická část. Po změření drsnosti se nejvíce změnila u martenzitické části vzorku a u ostatních částí byly změny drsnosti minimální.

Byla provedena chemická analýza svařovaných materiálů a také samotného svaru. Provedením chemického rozboru jsme prokázali, že se opravdu jedná o materiály a použitý přídavný materiál, jak uvedl zadavatel práce [viz.str.33-35].

Provedeným měřením tvrdosti bylo prokázáno, že nedošlo k výrazným změnám tvrdosti v podnávarové oblasti. V předešlém experimentu, zabývajícím se mořením korozivzdorných ocelí, bylo prokázáno, že nedochází k navodíkování povrchu. Změřením tvrdosti podnávarové oblasti, kde nebyly zjištěny žádné abnormality, jsme toto tvrzení potvrdily viz. Měření tvrdosti.

Po moření byly vzorky vystaveny koroznímu prostředí v korozní komoře, kde na ně působila solná mlha po dobu 96 hodin a následně kondenzační mlha po dobu 96 hodin. Po ukončení zkoušky byla na vzorcích opět přeměřena drsnost na stejném přístroji Mahr M300. Hodnoty naměřené na nemořených vzorcích vystavené koroznímu prostředí byly nepatrně vyšší než před zkouškou. Na ostatních vzorcích, které byly mořeny se drsnost také zvýšila. Příčinou zvýšení drsnosti může být vznik korozních produktů a zvýšený povrchového reliéfu, na kterém se tvořily krystalky soli. Dále byla provedena vizuální kontrola vzorků de normy ČSN EN ISO 10289. Na vzorcích po korozní zkoušce nebyly patrné žádné větší známky koroze. Pouze na několika vzorcích byla patrná koroze, která byla způsobena vyplavenými nečistotami mezi svařovanými plochami, které po svaření nemohly být odmořeny. Aby se projevil výrazné korozní napadení, musely by vzorky být vystaveny koroznímu prostředí

daleko delší dobu, řádově měsíce. Tento typ zkoušky je však velmi časově a finančně náročný a proto bylo od něj upuštěno.

Bylo prokázáno, že mořením se změní drsnost v oblasti svaru. Tato místně rozdílná drsnost nemá podstatný vliv na vznik koroze u heterogenního svaru. Z provedených experimentů vyplývá doporučení vývoje dalších typů mořících prostředků pro heterogenní spoje. Jelikož tato práce je zaměřena na provádění moření ponorem do lázně, je tato operace vhodná pouze pro určité typy výroby a výrobků. Mezi další doporučení lze uvést provedení dlouhodobých korozních zkoušek s následným přesným měřením korozních úbytků.

## ZDROJE

- [1] ZCU.CZ *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály* [online].[cit.2013-11-20]. Dostupné z [http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne\\_oceli\\_3.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf)
- [2] ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 3. vyd. Praha : SNTL, 1984. 355 s
- [3] EURO INOX. *Svařování korozivzdorných ocelí* [online]. 2007 [cit.2013-11-20]. Dostupné z [http://www.euro-inox.org/pdf/map/BrochureWeldability\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/BrochureWeldability_CZ.pdf)
- [4] ESAB. *Svařování nerezavějících ocelí*[online]. [cit.2013-11-20]. Dostupné z <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
- [5] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1
- [6] ACO INDUSTRIES. *Moření a pasivace nerezí* [online] [cit.2013-11-21]. Dostupné z <http://www.aco-industries.cz/co-delame/kooperace/moreni-a-pasivace-nerezi/>
- [7] ČVUT.CZ. *Koroze* [online][cit.2013-11-21] Dostupné z [http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch\\_predn13-Ko.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf)
- [8] HAVLÍK,Luboš. *Koroze slitin železa a způsoby jejich vyhodnocování: Bakalářská práce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, 2010 [cit.2013-11-21]. Dostupné z [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/18132/2010\\_BP\\_Havlik\\_Lubos\\_107221.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/18132/2010_BP_Havlik_Lubos_107221.pdf?sequence=1)
- [9] *Koroze a ochrana materiálů, Učební text určený pro prezenční studium, Fakulta výrobních technologií a managementu Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Ústí nad Labem*. [online] [cit. 2013-11-21]. Dostupné z [http://www.stefanmichna.com/download/opory/koroze\\_a\\_ochrana\\_materialu.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/opory/koroze_a_ochrana_materialu.pdf)
- [10] EURO INOX. *Moření a pasivace korozivzdorných ocelí* [online]. 2007 [cit.2013-11-21]. Dostupné z [http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating\\_Pickling\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/Passivating_Pickling_CZ.pdf)
- [11] Ing. KALNÝ,Petr, FK system Brno, s.r.o., *Moření a pasivace* [online] 2007[cit.2013-11-21] Dostupné z [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/MoreniPasivace\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/MoreniPasivace_2007.pdf)
- [12] VSCHT.CZ, *Zkoušení a monitoring koroze* [online].2008 [cit.2013-11-21] Dostupné z [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_monit.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_monit.htm)



## **OBRÁZKY-INTERNETOVÉ ZDROJE**

[I] [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)

[II] <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarove-spoje-zaropevnych-materialu-pouzivanych-v-energetice/>

[III] <http://www.internationalcs.com.au/02-stainlessdoescorrode.html>

[IV] <http://www.elmerwallace.co.uk/Antox-71E-Plus-Pickling-paste/1.htm>

[V] <http://www.internationalcs.com.au/01-inhousepickling.html>

[VI, VII, VIII, IX] <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>

[X] [http://www.euro-inox.org/pdf/map/What\\_is\\_Stainless\\_Steel\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/What_is_Stainless_Steel_CZ.pdf)

[XI] <http://www.vyrtych.cz/Home/Laboratory/Corrosivecamera/tabid/343/language/cs-CZ/Default.aspx>