

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nové trendy v povrchových úpravách svarových spojů

Autor: **Tomáš ZIKMUND**

Vedoucí práce: **Ing. Ondřej CHOCHOLATÝ, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš ZIKMUND**

Osobní číslo: **S17B0358P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**

Název tématu: **Nové trendy v povrchových úpravách svarových spojů.**

Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Koroze, principy a mechanismy.
2. Korozní problematika svarových spojů.
3. Metody protikorozní ochrany svarových spojů.
4. Metodika testování korozní odolnosti svarových spojů.
5. Návrh vhodných povrchových úprav pro ochranu svarového spoje.
6. Příprava vzorků.
7. Korozní testování a vyhodnocení.
8. Diskuze výsledků.
9. Závěr.

Rozsah grafických prací: fotodokumentace, obrázky

Rozsah kvalifikační práce: 30-40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Multimediální výukový projekt Korozní inženýrství. [online] [cit 24-9-2014].
http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/s_iproje.htm

JONES, D.A. *Principles and prevention of corrosion*, Prentice Hall, New York 1996

REVIE, W., R., *Corrosion and Corrosion Control*, Willey Interscience 2008, ISBN: 978-0-471-73279-2

DAVIS, J., R., *Corrosion of Weldments*, ASM International, 2006, ISBN-13: 978-0-87170-841

ASTM_A262-15_1.9.2015, Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Chocholatý, Ph.D.

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Samek

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 24. května 2019

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž
vedoucí katedry

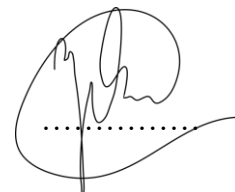
V Plzni dne 30. října 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní na Západočeské Univerzitě 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: 24. 5. 2019

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by several loops and a long horizontal stroke ending in a small flourish. A dotted horizontal line is drawn across the middle of the signature.

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Zikmund	Jméno Tomáš		
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Strojní inženýrství“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Chocholatý, Ph.D.	Jméno Ondřej		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KMM			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Nové trendy v povrchových úpravách svarových spojů			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	48	TEXTOVÁ ČÁST	48	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Cílem bakalářské práce bylo shrnutí dosavadních poznatků o korozi a svarových spojích. V teoretické části byly popsány problémy spojené s korozi, její dělení, formy a korozní ochrany. V druhé části byly popsány svary, jejich mikrostruktura a svařovací postupy sloužící k minimalizaci koroze. Dále byly v práci popsány korozní zkoušky a korozní testy. V experimentu byly vyzkoušeny některé povrchové úpravy. Ty byly srovnány mezi sebou.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Koroze, svarové spoje, korozní testování</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Zikmund	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	B2301 “Mechanical engineering“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Chocholatý, Ph.D.	Name Ondřej	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	New trends in surface finishing of welded joints		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	48	TEXT PART	48	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The aim of the bachelor’s thesis was to summarize the existing knowledge of corrosion and welded joints. The theoretical part describes the problems associated with corrosion, its forms and corrosion prevention. The second part was about welds, their microstructure and welding procedures to minimize corrosion. Next there were describe corrosion tests. In experiment some of the protective methods were tested and compared between themselves.</p>
KEY WORDS	Corrosion, welded joints, corrosion test

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, panu Ing. Ondřeji Chocholatému, Ph.D. za vstřícný přístup a odborné rady.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů	3
Úvod	4
1. Koroze.....	4
1.1 Definice koroze	4
1.2 Historie koroze	5
1.3 Koroze v každodenním životě.....	6
1.4 Ekonomické důsledky koroze	6
1.5 Rozdělení koroze	7
1.5.1 Podle vnitřního mechanismu	7
1.5.2 Podle druhu korozního prostředí.....	8
1.5.3 Podle kombinace s vnějšími činiteli.....	8
1.5.4 Podle rozsahu korozního napadení.....	10
1.6 Formy svarové koroze	11
1.6.1 Galvanická koroze.....	11
1.6.2 Důlková koroze	12
1.6.3 Stresová koroze	12
1.6.4 Mezikrystalová koroze	12
1.6.5 Vodíková koroze	13
1.6.6 Mikrobiologická koroze	13
1.7 Protikorozní ochrana.....	14
1.7.1 Volba materiálu.....	14
1.7.2 Konstrukční a technologické úpravy.....	14
1.7.3 Úprava prostředí.....	14
1.7.4 Elektrochemická ochrana	15
1.7.5 Ochrana povlaky	16
1.8 Nátěrové hmoty	19
1.8.1 Složení nátěrových hmot	19
1.8.2 Antikorozní účinnost nátěrových hmot	20
2. Svarové spoje	21
2.1 Mikrostruktura svarových spojů.....	22
2.1.1 Zóny svarových spojů	22
2.2 Svařovací postupy k minimalizaci koroze	23
2.2.1 Výběr materiálu a návrh svařování	24

2.2.2 Příprava povrchu a proces svařování	25
2.2.3 Použití podkladového materiálu.....	26
2.2.4 Povrchová úprava svařeného povrchu.....	26
2.2.5 Moření, pasivace a dekontaminace	27
2.2.6 Leštění, elektroleštění a odstranění zdrojů vodíku.....	27
2.2.7 Žihání a aplikace povrchového povlaku.....	28
3. Korozní zkoušky.....	28
3.1 Kondenzační test.....	28
3.2 Zkoušení v solné mlze.....	29
4. Testy mezikrystalové koroze.....	29
4.1 Chemický.....	29
4.2 Elektrochemický	29
5. Závěr teoretické části.....	30
Cíle experimentu	30
6. Experimentální část	31
6.1 Návrh experimentu.....	31
6.2 Materiály vzorků.....	31
6.3 Výroba vzorků	32
6.4 Čištění vzorků a vizuální zkouška svaru	33
6.5 Povrchové úpravy	34
6.6 Srovnání povrchových úprav – část 1	39
6.7 Výbrus a sledování vzorků pod mikroskopem	40
6.8 Testování v solné komoře.....	40
6.9 Srovnání povrchových úprav – část 2	41
7. Diskuze výsledků.....	43
8. Závěr	43
7. Seznam literatury.....	44
7.1 Seznam obrázků.....	46
7.2 Seznam tabulek	48

Přehled použitých zkratk a symbolů

TOO teplem ovlivněná oblast

HDP hrubý domácí produkt

pH vodíkový exponent

SCC stresová koroze

Ce uhlíkový exponent

Úvod

Tato práce se zabývá problematikou koroze, svarových spojů, korozních zkoušek a přichází se srovnáním moderních povrchových úprav používaných pro svarové spoje. Čtenář se v ní může dočíst o historických milnicích ve výzkumu koroze, jakým byl například vynález žárového zinkování. Dále pak o ekonomických důsledcích, například škodě vznikající v jejím důsledku, o dělení koroze na základní 4 druhy, a o vnějších činitelích urychlující rozpad věci. Ve druhé kapitole jsou představené svarové spoje, jsou zde objasněné mikrostruktury svarů, nejčastější formy svarové koroze a v neposední řadě jsou zde prezentovány způsoby protikorozní ochrany. Jednotlivé druhy, složení a jejich výhody. Třetí kapitola se zabývá korozními zkouškami. Jsou zde detailně popsány dvě nejrozšířenější metody, kondenzační test a zkoušení v solné mlze. Praktická část práce se zabývá srovnáním vybraných povrchových úprav svarových spojů. [1]

1. Koroze

Vše začíná u nerostných surovin, které se vyznačují nízkou vnitřní energií. Ty se pro lidské potřeby dále upravují, a to dvěma základními způsoby: tepelnou výměnou (kalením) a konáním práce (kováním). Při těchto operacích je ovšem jejich vnitřní energie zvyšována a výsledné produkty se dostávají do tzv. nestabilního stavu. Na základě Zákonu o Zachování Energie je u těchto těles snaha dostat se na jejich původní energetickou hodnotu. Jedním ze způsobů „vybíjení materiálu“ se nazývá Koroze. Jedná se o přírodní proces, který zmenšuje nadbytečnou energii materiálu a během něhož materiál přechází zpět do stavu stabilnějšího s menší vnitřní energií a méně uspořádanou strukturou. Při dlouhodobém působení, by bez ochrany došlo až k jeho rozložení zpět na ryzí stav látek. Jedná se tak většinou o negativní reakci, která degraduje materiál. U kovů nazývaná také jako „metalurgie obráceně“. Koroze postihuje výhradně neživé věci. [3]

Zákon zachování energie:

$$U = E_k + E_p$$

(Vnitřní energie = kinetická energie + potenciální energie)

1.1 Definice koroze

Koroze je samovolné, postupné rozrušení kovů či nekovových organických i anorganických materiálů (např. hornin či plastů) probíhající vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. Může probíhat v plynech, v kapalinách, ale i v zeminách či různých chemických látkách, které jsou s materiálem ve styku. Toto rozrušování se může projevovat rozdílně, od změny vzhledu přes rozpad základní látky až po přeměnu v látku jinou. [4]

1.2 Historie koroze

„Neskládejte sobě pokladů na zemi, kdež mol a rez kazí, a kdež zloději vykopávají a kradou.“

- Nový zákon, Evangelium Sv. Matouše 6.19

První zmínka o korozi, dříve známé pod pojmy rez nebo nežádoucí jev se datuje k rokům 23-79 po Kristu. Římský válečník a filosof Plinius Starší napsal esej o destrukci železa - Ferrum Corrupirar. Již okolo roku 1000 n. l. probíhaly první pokusy o ochranu železa cínováním. Od té doby toho bylo napsáno o korozi hodně, ale málo o tom, jaké jsou její příčiny. Jako průlomové se stalo dílo Mechanický původ korozivity, napsané Robertem Boylem. Toto dílo se jako jedno z prvních zabývalo také původem koroze. V roce 1742, francouzský chemik Paul Jacques Malouin popsal metodu natírání železa pomocí ponoření do roztaveného zinku v prezentaci pro Francouzskou královskou akademii. Od poloviny 18. století byla tato metoda známá jako žárové zinkování. Jinou otázku řešil sir Humphry Davy, tento anglický vynálezce a chemik, dostal za úkol vyřešit korozi zdymadel, které se v důsledku galvanické koroze ve slané vodě rychle rozkládaly. Davy vymyslel obětování dvou těles (anody a katody) k záchraně zbytku brány, a tím dal vzniknout tzv. katodické ochraně. Jeden z nejdůležitějších objevů byl popsán Faradayem. Podle jeho zákonů lze vypočítat korozivzdornost kovu. V polovině devatenáctého století objevil Christian Friedrich Schonbein, že když se těleso umístí do zředěné kyseliny dusičné, rozpustí se a vytvoří vodík, ale pokud se umístí do koncentrované kyseliny a pak se vrátí do její zředěné formy, nebude zde probíhat žádná, nebo jen velmi pomalá reakce. Schonbein pojmenoval první stav jako stav aktivní a druhý jako stav pasivní. Dále pak objevil, že pokud se dotknou pasivní s aktivním železem. Oba dva se stanou aktivními. Na počátku 20. století americký profesor Balfour S. Whitney poskytl vědecký základ pro kontrolu koroze založené na elektrochemickém pozorování. Pozoroval, že železo koroduje ve zředěné kyselině dusičité rychle, ale v koncentrované kyselině zůstává korozi nezasazeno. Od 20. let 20. století pak započal výzkum a vývoj korozivzdorných ocelí s chrómem a niklem. [2, 5]

časově seřazené osobnosti:

Herodotus	(5. století před Kristem)	- navrhl použití cínu na ochranu železa
Pliny Starší	(23-79 před Kristem)	- esej o zkaženém železe
Robert Boyle	(1627 – 1691)	- dílo Mechanický Původ Korozity o příčinách vzniku koroze
Malouin	(1742)	- žárové zinkování
Lomonosov	(1743-1756)	- zákon o zachování hmotnosti
Faraday	(1819)	- označil korozi za elektrochemický děj
Hall	(1829) kyslíku a vody (4)	- ustanovil podstatu koroze jako oxidaci železa při působení
Davy	(1824)	- vymyslel metodu katodické ochrany[94]
De la Rive	(1830)	- objevil existenci mikrobuněk na povrchu zinku
Schonbein		- pojmenoval aktivní a pasivní prvek
Dunstan	(1905)	- vyzkoumal, že ke vzniku koroze není nutná přítomnost kyseliny

1.3 Koroze v každodenním životě

Její důsledky zaujímají značnou roli v životě člověka. Ve všedním životě je nejzřetelnější ve formě rzi u kovových materiálů. Lze ji pozorovat všude okolo nás, například u starých aut, nebo vodovodního potrubí. Jedná se o červenohnědý povlak, který se tvoří výhradně na povrchu železných a ocelových materiálů. Tento povlak je tvořen pomocí hydratovaného oxidu železitého ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), popřípadě $\text{FeO}(\text{OH})$, nebo $\text{Fe}(\text{OH})_3$ v závislosti na prostředí. Se slovem rez si mnoho lidí vybaví i specifickou chuť. Ta nejednomu člověku otrávil chuť natočené vody. Koroze ovšem působí nejen na kovy, ale také na sklo, keramiku a polymery. Sklo koroduje za vzniku bílých zákalů a následných prasklinek a oděrek. U polymerů lze pozorovat změnu barvy, ztrátu lesku a popraskání materiálu. [1, 3]

1.4 Ekonomické důsledky koroze

Mimo bezpečnosti a funkčnosti, hraje koroze velkou roli také v ekonomických ztrátách. Náklady na její odstranění se rozlišují na přímé a nepřímé. Přímé se týkají opravy již korodujícího, nebo zkorodovaného předmětu. Nepřímé pak ztrátami kvůli odstávce daného předmětu. Nepřímé náklady jsou zpravidla daleko větší než přímé. Základní zdroje nákladů jsou následující:

Porucha zařízení - cena výměny dílu stroje je zanedbatelná v porovnání s cenou za neprodukování práce, kvůli které je stroj pořízen. Příkladem je jaderná elektrárna, při jejímž odstavení se ztráta může pohybovat v řádech desítek milionů korun za den. [8]

Ztráta produkce - netěsné kontejnery, nádrže a potrubí mohou vést k významným ztrátám výrobku. Netěsnosti a úniky mají odpovídající nebezpečné účinky na okolní prostředí a bezpečnost obyvatelstva. Tisíce uniklých palivových nádrží automobilové čerpací stanice musí být opraveny nebo vyměněny, aby se zabránilo opakovaným ztrátám paliva a kontaminaci podzemních vod. Náklady jsou obrovské. [8]

ztráta účinnosti - akumulace koroze na potrubí snižuje účinnost přenosu tepla a čerpací kapacitu. [8]

znečištění – zkorodované trubky znehodnocují tekutinu, která v nich proudí. [8]

naddimenzovaný design – kvůli neznalosti adekvátních informací o míře koroze, inženýři často naddimenzují design, což vede k plýtvání zdrojů. [8]

Jenom v české republice se škody způsobené korozi odhadují okolo 130 miliard korun za rok. Pro srovnání ve Spojených státech amerických se ztráta pohybuje okolo 126 miliard dolarů za rok. Obecně ve vyspělých státech jsou škody způsobené korozi odhadovány na 3-5 % HDP. [3, 14]

1.5 Rozdělení koroze

Pro zmenšení ekonomických ztrát je potřeba znát kdy a kde koroze nastává, dále pak věci, které mají vliv na rychlost jejího působení. Pro pochopení problematiky a správný návrh věcí je potřeba znát základní korozní dělení. To je následující [1]:

- podle vnitřního mechanismu
- podle druhu korozního prostředí
- podle kombinace s vnějšími činiteli
- podle druhu korozního napadení

1.5.1 Podle vnitřního mechanismu

Koroze je v tomto případě dělena podle reakcí, které zde vystupují. Zatímco v chemické dochází pouze k reakci mezi materiálem a nevodivým prostředím, v elektrochemické dochází ke vzniku galvanických článků, jejichž součástí je sledovaný materiál. Tato koroze probíhá v elektricky vodivém prostředí. Biologická je pak vyvolána účinkem mikroorganismů. [3]

Chemická koroze

Probíhá na základě reakce materiálu a agresivního prostředí. Nejčastěji se na povrchu tvoří oxidická vrstva, která rozrušuje základní materiál. Při zvětšující se teplotě se zvětšuje vrstva oxidů a zmenšuje se rychlost koroze. Při vysokých teplotách se z oxidů tvoří okuje, které zrychlují korozní působení. Některé neželezné kovy mají schopnost vytvoření oxidické ochranné vrstvy. Příkladem je patina u mědi, nebo vrstva oxidu hlinitého u hliníku. [3]

Elektrochemická koroze

Probíhá ve vodivém prostředí při spojení dvou materiálů s různým elektrodovým potenciálem, nebo při vnějším vodivém spojení heterogenních materiálů. Tato koroze je doprovázena dvěma reakcemi. Anodovou a katodovou. Mezi těmi probíhá elektrický proud. Anodou se stává materiál s nižším elektrodovým potenciálem, zde probíhá oxidace kovu (vlastní koroze), katodou pak materiál ušlechtlejší, zde probíhá redukce oxidující složky (ochranná reakce). V tomto elektricky vodivém systému anoda přijímá méně iontů, než vysílá, u katody je to pak přesně naopak. Proto na anodě dochází k redukci a na katodě k nabývání materiálu. [3]

Biologická koroze

V tomto druhu koroze jsou přítomní dva činitelé: pasivní, tím je technický materiál a aktivní, činitel s biologickým původem. Ten může být vyvolán bakteriemi, plísněmi, vodními živočichy a mikroorganismy. [3]

1.5.2 Podle druhu korozního prostředí

Z hlediska prostředí, ve kterém probíhá, se určují tři typy koroze: atmosférická, v kapalinách a půdní.

Atmosférická koroze

Většina strojů se vyskytuje v naší atmosféře. Z tohoto důvodu je tento druh korozního prostředí nejrozšířenější. Na rychlost šíření má vliv vlhkost a agresivita prostředí, dále pak teplota vzduchu a jeho znečištění. [3]

Koroze v kapalinách

Agresivita koroze v kapalinách závisí na pH samotné kapaliny, množství plynů rozpuštěných v kapalině, hlavně pak kyslíku, teplotě a proudění kapaliny. Z praktického hlediska je kapalinou většinou voda, a to jak sladká, tak i slaná. Mezi korozi postižené produkty patří vodní stroje, parní turbíny, potrubí, chladicí systémy atd. Pro průmyslové použití jsou kapaliny chemicky upravovány (odplyňovány, změkčovány). [3]

Půdní koroze

Může mít charakter chemické, elektrochemické, nebo biologické koroze. Na to, který charakter půdní koroze se na daném místě nachází, má vliv přítomnost bludných proudů, mikrobů, vlhkosti a solí. [3]

1.5.3 Podle kombinace s vnějšími činiteli

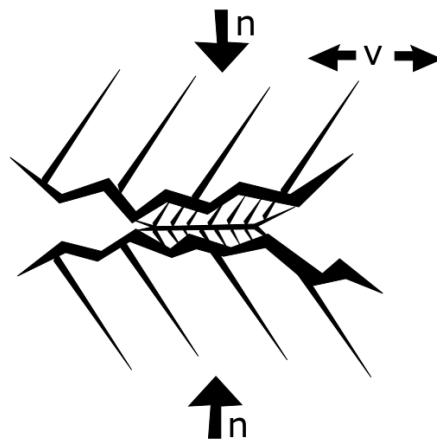
V následující části jsou popsány druhy koroze podle působení vnějších sil. Jedná se o kombinaci mechanického namáhání materiálu s korozním rozrušováním. Dělí se do těchto skupin: Koroze při únavě materiálu, Vibrační koroze, Korozní praskání (koroze pod napětím), Koroze bludnými proudy. [1]

Koroze při únavě materiálu

Tento druh napadení vzniká při namáhání materiálu cyklickým mechanickým namáháním s tahovou složkou za vlivu korozního prostředí. Kvůli cyklickému namáhání nad mezí únavy dochází k poruše celistvosti materiálu i bez korozního prostředí. Korozní únava se navíc vyznačuje tím, že při cyklickém namáhání v agresivním prostředí neexistuje mez únavy, tj. největší opakovaná změna napětí, kterou materiál teoreticky vydrží nekonečně dlouho, aniž by se porušil. Trhlina je při této korozi transkrystalická, má tupé čelo a šíří se diskontinuálně. Frekvence zatěžování má velký vliv na rychlost šíření trhliny. Čím nižší frekvence zatěžování, tím vyšší vzrůst délky trhliny na jeden cyklus. Korozní únava se často projevuje už při nízkém počtu cyklů zatěžování. Trhlina se šíří z míst nehomogenit povrchu (vruby, vměstky, hranice zrn, extruze, intruze). Ochrana proti korozní únavě spočívá v odstranění cyklické tahové složky, snížení amplitudy zatížení, ve výběru odolnějšího materiálu, ve snížení agresivity materiálu a použití anorganických (kovových) povlaků. [1]

Vibrační koroze

Vzniká při tření ocele s jiným materiálem za působení normálové síly při mezních hodnotách součinitele tření. Dochází k uvolňování částic materiálu. Ty zůstávají v místě styku, oxidují a dodávají opotřebovaným místům na ocelových součástech typické hnědočervené zbarvení. Často označované jako krvácení materiálu. Ochrana proti této korozi pomocí mazání tuhými mazivy jako je grafit. Objevuje se například u lopatek vodních turbín, valivých ložisek, čepů, hřídelích a spojek. Často k němu dochází také u nalisovaných spojení, např. náboje kol, setrvačníky, řemenice apod. Na průběh a intenzitu vibračního opotřebování působí řada faktorů, zejména: amplituda pohybu, frekvence pohybu, měrný tlak ve styku součástí, vlastnosti materiálů. [18]



Obr. 1: vibrační koroze

Korozní praskání

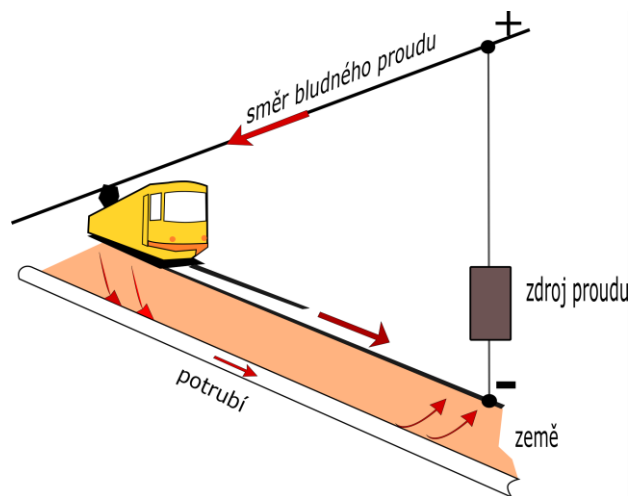
Tento typ koroze je kombinací působení specifického korozního prostředí a napětí v materiálu. Toto napětí vzniká tahovým namáháním, ale může být způsobeno také špatnou tepelnou úpravou materiálu, např. tvářením za studena. Vznikají trhliny kolmé na směr tahových pnutí, které vedou až ke křehkému lomu. Trhliny mají mezikrystalový, transkrystalický nebo smíšený charakter. Nebezpečí vzniku koroze je pouze u slitin, čisté kovy jsou odolné. Mechanismus je popisován jako aktivní rozpouštění materiálu na čele trhliny. Ochrana před korozním praskáním spočívá ve snížení napětí v materiálu, změně slitiny, úpravě prostředí, nebo elektrochemické ochraně. [3]

Koroze bludnými proudy

Vzniká při nekontrolovaném, neboli bludném proudu. Ten je vyvolán vnějším zdrojem stejnosměrného proudu. Vznikají zde anodické a katodické procesy - elektrochemická koroze. Vyskytuje se převážně u kovových materiálů uložených v zemi, nedostatečně odizolovaných, nacházejících se blízko zdrojů bludného proudu. Typickým příkladem je kolejová doprava. [1, 13]

Bludný proud

Elektrický proud unikající z elektrických zařízení nedostatečně izolovaných proti zemi nebo používajících zem jako zpětného vodiče. (ČSN 03 8370)



Obr. 2: bludná koroze u tramvajových kolejí

1.5.4 Podle rozsahu korozního napadení

Skupina korozního napadení podle rozsahu se dělí na rovnoměrnou a nerovnoměrnou, jinak známé jako koroze lokální a globální.

Rovnoměrná koroze

Vyznačuje se napadením materiálu celoplošně, koroze má stejnou rychlost působení po celém povrchu materiálu, který se nachází v korozním prostředí. Teno druh koroze je nejvýhodnější, dá se snadno pozorovat a předvídat postup šíření. V některých případech může sloužit i příznivě jako ochrana. [13]

Nerovnoměrná koroze

Na rozdíl od rovnoměrné formy koroze není vždy vidět na první pohled, hůře se také předvídá její šíření, k selhání výrobku důsledkem této formy dochází dříve. Je způsobena výskytem heterogenity. Buď na straně materiálu, nebo na straně prostředí. Nerovnoměrná koroze se dále dělí na galvanickou, štěrbinovou, bodovou, na korozní praskání, mezikrystalovou, selektivní a erozní korozi. [13]



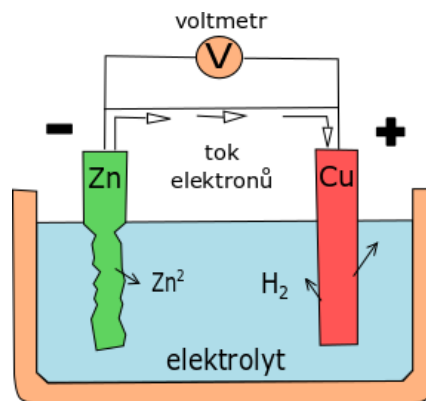
Obr. 3: typy koroze

1.6 Formy svarové koroze

Svařence mohou zažít všechny klasické formy koroze, ale jsou obzvláště náchylné k těm, které jsou způsobeny změnami mikrostruktury a složení. Konkrétně se pak jedná o galvanickou korozi, dŕlkovou korozi, stresová korozi, mezikrystalovou korozi, vodíkovou korozi a mikrobiologicky ovlivněnou korozi. [13]

1.6.1 Galvanická koroze

Ke korozi působením galvanického článku může dojít, pokud různé kovy daného systému mají různé korozní potenciály a mezi těmito kovy existuje vodivé spojení (elektrolyt). Při korozi působením galvanického článku je méně ušlechtilý materiál (anoda) přednostně napadán, kdežto ušlechtlejší materiál (katoda) je dokonce proti korozi chráněn. Vlastně i katodická ochrana vychází z principu obětovaných anod, které druhému kovu zajišťují ochranu proti korozi. Styk dvou kovů o různém potenciálu vyvolá v elektricky vodivém prostředí tok elektronů od anody ke katodě. Dochází ke stejným elektrochemickým reakcím, jaké přirozeně probíhají u osamocené kovu, avšak korozní napadení anody je velice urychleno. V některých případech může tvorbou galvanických článků docházet i ke korozi materiálů, které by jinak v daném prostředí odolávaly. Stát se to může například u pasivovaných materiálů jako je hliník. [13]



Obr. 4: galvanický článek

1.6.2 Důlková koroze

Jde o formu místního napadení, kdy zbytek povrchu zůstává neporušen. Vzniká v místech, kde se rozpadne ochranná oxidační vrstva. Výsledkem jsou jamky, v nichž pak vzniká okyselené prostředí, které korozi urychlí. Jamka se stává anodou, a to vede k místní galvanické korozi. Tato koroze probíhá do hloubky materiálu s omezenou difúzí iontů. Kvůli této skutečnosti koroze postupuje i po vyčištění jamky. Prostředí se totiž neodstraní a koroze pokračuje dále. Hlavní metody používané pro předejití důlkové koroze jsou: anodická oxidace, plátování čistým hliníkem, chromování nebo fosfátování. [1, 17]

1.6.3 Stresová koroze

Stresová koroze (SCC) vzniká kombinací působení korozního prostředí a namáhání materiálu. Prostředí, které způsobuje SCC pro danou slitinu, je často takové, které je pro kov jen mírně korozivní. Proto obvykle většina povrchu zůstává nenapadena, pouze s jemnými prasklinami pronikajícími do materiálu. V mikrostruktuře mohou tyto trhliny mít intergranulární nebo transgranulární morfologii. Makroskopicky mají SCC zlomeniny křehký vzhled. SCC je klasifikována jako katastrofická forma koroze, protože detekce takových jemných trhlin může být velmi obtížná a poškození není snadné předvídat. Experimentální data SCC jsou známá pro širokou škálu rozptylu. Katastrofální porucha může nastat neočekávaně, s minimální celkovou ztrátou materiálu. [7, 11]

1.6.4 Mezikrystalová koroze

Je formou nerovnoměrného korozního napadení, vyskytujícího se hlavně v blízkosti svarů. Jeho příčinou je strukturní a chemická nehomogenita kovu na hranicích zrn. Tento typ koroze je nejčastěji k vidění u korozivzdorných ocelí po tepelném zpracování, při němž na hranicích zrn vznikají oblasti ochuzené o chrom. Materiál následně ztrácí mechanickou pevnost, a to často při nezměněném vzhledu. U austenitických ocelí dochází k precipitaci Cr_{23}C_6 při teplotách 425 – 820 °C. Při snížení obsahu kovu pod 12% se materiál obtížněji pasivuje a může u něho docházet k aktivní korozi. K výraznému urychlení korodujícímu procesu dochází v důsledku rozdílů obsahu chromu, kdy ochuzená oblast materiálu se chová jako anoda a základní materiál se zvýšenou oblastí chromu jako katoda. Tento děj je řízen termodynamicky - precipitace karbidů probíhá primárně na hranicích zrn. [1, 17]

1.6.5 Vodíková koroze

Jedná se o poškození v důsledku nahromadění atomů vodíku v místech materiálu, které nemohou difundovat a vyvolávají velké místní napětí, které vede až k tvorbě trhlin. Vodík se do materiálu dostane při technologickém zpracování (moření, galvanické pokovování), nebo při vystavení materiálu v prostředí s velkou koncentrací vodíku. Vodík se zachytává v kovech na místech, která se označují jako „vodíkové pasti“ – ty mají bodový, lineární, plošný nebo objemový charakter v podobě dislokací, vrstevních poruch, hranic zrn, vměstek, dutin nebo trhlin. Struktury protikorozních ocelí jsou méně náchylné vůči zachycování vodíku nežli oceli uhlíkové. Důležitým faktorem rozpustnosti vodíku je krystalická mřížka materiálu. Při jejím těsnějším uspořádání (feritické struktuře) je materiál náchylnější na vodíkovou křehkost, než při uspořádání austenitickým. Velký vliv na degradaci má vznik hydridů ve struktuře kovů jako je titan nebo tantal a atomární vodík je příčinou rozpadu těchto velmi korozně odolných kovů. Negativní účinky vodíku na kovové materiály nepatří v pravém slova smyslu do korozních procesů, protože se na degradačním mechanismu přímo nepodílí elektrochemická ani chemická reakce. Vlastní degradace je čistě mechanické podstaty, i když příčina vzniku atomárního vodíku je často povahy chemické. [1]

1.6.6 Mikrobiologická koroze

V tomto druhu koroze jsou přítomní dva činitelé: pasivní, tím je technický materiál a aktivní, mikroorganismus (bakterie a plísně). Další dělení lze provést z hlediska hlavního zdroje živin pro mikroorganismy. Pokud je jím samotný rozkládající se materiál, mluví se o tzv. asimilačním poškození. Druhým případem je disimilační poškození, v tomto případě poškozený materiál není hlavním zdrojem živin. Při mikrobiologickém procesu se přihlíží k vnějším, makrobiologickým podmínkám, které ovlivňují samotnou existenci mikrobů a k prostředí na pomezí materiál – mikroklima. To ovlivňuje samotný proces napadení materiálu. Mikrobiologická koroze, neboli Biodeteriogeneze má tři části:

Infekce – navazování stálého styku mezi materiálem a organismy

Inkubace – od infekce k objevení zjevných symptomů

Manifestace – od zjevných symptomů po rozrušení materiálu

Je důležité dodat, že při této korozi většinou nepůsobí na materiál pouze jeden druh, ale celý komplex mikrobů. Vzájemně se ovlivňují a tvoří vlastní ekosystém. Stupeň napadení materiálu závisí ve velké míře na jeho druhu a tvaru výrobku. Například u plastů na druhu polymeru, typu stabilizátoru a změkčovadla. Pro šíření mikrobů jsou důležitými faktory teplota, vlhkost, pH prostředí, živiny a přítomnost kyslíku. Zvláštní mikroby, potřebující pro svůj život speciální podmínky se nazývají extrémofily. Šíření biokorozních mikrobů je stejné jako u patogenních mikroorganismů - větrem, hmyzem, prostřednictvím zvířat a člověka. Změna materiálu nastává už při fázi infekce. A to jak funkční (mechanické, elektrické, chemické, optické), tak i morfologické (změna tvaru, barevné skvrny, pitting). [6]

1.7 Protikorozní ochrana

- Volba materiálu
- Konstrukční a technologické úpravy
- Úprava prostředí
- Elektrochemická ochrana
- Ochranné povlaky

1.7.1 Volba materiálu

U materiálu se hledí na jeho vlastnosti, mimo jiné také na stálost v různých prostředích. Mezi kovové materiály s největší stálostí patří ušlechtilé kovy, jejich slitiny a korozivzdorné oceli. U volbě materiálu z hlediska korozní odolnosti se postupuje podle určených parametrů. Těmi jsou: Formulace problematiky koroze, volba optimálního materiálu na základě znalostí a poznatků o chování podobných zařízení, na základě dalších literárních zdrojů zhodnocení jiných nebezpečí korozního napadení, zhodnocení korozního chování materiálů v provozních podmínkách a při změně technologických parametrů, zhodnocení možnosti protikorozní ochrany, zpracování požadavků na případné modelové nebo poloprovozní korozní zkoušky, posouzení komplexně korozního namáhání stroje nebo zařízení. [24]

1.7.2 Konstrukční a technologické úpravy

Základním předpokladem pro výrobu spolehlivého výrobku je jeho konstrukční návrh. Korozní problematika je jedním ze základních parametrů celkového návrhu. Z hlediska eliminace korozně kritických míst ve výrobku je jeho návrh kritickou etapou vývoje. Z tohoto hlediska se návrh v období projekce posuzuje na vztahy mezi návrhem konstrukčního uspořádání a možností vzniku korozního napadení, kritická korozní místa v konstrukčním uspořádání, technologii přípravy výroby a montáže zařízení z hlediska koroze. Základem, ze kterého se při navrhování vychází, bývá geometrie (tvar) výrobku. Ta mimo jiné nesmí podporovat tvorbu koroze. Mezi hlavní typy koroze, vznikající v důsledku špatného konstrukčního návrhu patří: Lokální koroze, korozní praskání při napětí, štěrbinová koroze. Mezi další parametry ovlivňující korozní děje, na které je při návrhu potřeba dávat pozor patří mechanické namáhání, proudění a přestup tepla, styk dvou vodivých materiálů, nerovnoměrné korozní podmínky na povrchu kovu, doba styku s prostředím. [24]

1.7.3 Úprava prostředí

V některých případech je výhodnější nepřizpůsobovat materiál koroznímu prostředí, ve kterém se bude nacházet, ale naopak upravit prostředí samotné. Možná je úprava jak plynného, tak i kapalného prostředí. Tato úprava se provádí dvěma způsoby. Snížením koncentrace korozi aktivních látek, nebo přidáním inhibitorů. [23]

Koroze aktivní látky

Jedná se o látky urychlující korozní děje. U vzduchu je to například vlhkost, kterou je možné zmenšit pomocí vysoušečů vzduchu (oxid hlinitý, oxid vápenatý). V kapalném prostředí je to pak kyslík a ostatní plyny. [23]

Korozní inhibitory

Inhibitor je látka, která přidáním do prostředí snižuje korozní působení. Při jeho správné volbě lze dosáhnout vysoké účinnosti. Důležitým faktorem je množství přidaného inhibitoru. V praxi se většinou používá několik inhibitorů dohromady. Inhibitory se dělí na tři skupiny: anodické, katodické, adsorpční. [23]

Anodické - Jedná se o látky brzdící anodickou reakci. Uplatnění nachází hlavně v neutrálních roztocích, kde způsobují vznik nerozpustných produktů, které chrání povrch před další korozi (např. pasivní vrstva). Je nutné, aby tyto látky byly přítomny v dostatečném množství. V případě, že koncentrace není dostatečně velká, naopak podporují korozní děj a způsobují nerovnoměrné napadení povrchu. Mezi tyto inhibitory patří dusitany, benzoany, chromany, fosforečnany a křemičitany. [23]

Katodické - Tyto látky způsobují zpomalení průběhu katodické reakce. V neoxidačních kyselinách takto působí při korozi sloučeniny arsenu a antimonu, které brzdí vylučování vodíku. V neutrálních roztocích vytvářejí vápenaté a zinečnaté ionty, spolu s produkty koroze vrstvy, které brzdí kyslíkovou depolarizaci. Takto působí i polyfosforečnany. [23]

Adsorpční - Brzdí korozní anodovou i katodovou reakci adsorpcí na povrchu kovu. Jedná se obvykle o organické látky, které obsahují skupiny s dusíkem a sírou, např. aminy, merkaptany. Jejich hlavní uplatnění je při moření kovů. [23]

Při výběru vhodného inhibitoru je potřeba zvážit několik věcí: druh materiálu, časový rámec ochrany, způsob aplikace, požadovaná ochrana, interakce s následnými procesy, požadavky na ochranu životního prostředí, typ výrobku, podmínky skladování a přepravy, manipulace s díly. [23]

1.7.4 Elektrochemická ochrana

Tato ochrana spočívá ve změně potenciálu materiálu vůči elektrolytu. Změna polarizace kovu vede k jeho ochraně proti korozi. Elektrochemická ochrana se dělí na dva způsoby:

- **katodická**, chráněný předmět se stává katodou a je vůči působení korozních činidel imunní.
- **anodická**, chráněný předmět se stává anodou a je vůči působení korozních činidel pasivní.

Při vodivém spojení dvou a více materiálů s různým potenciálem, nebo při vnějším vodivém spojení vzniká elektrický člunek. Ten je tvořen anodou – materiálem s nižším elektrodovým potenciálem, katodou – materiálem s vyšším elektrodovým potenciálem a elektrolytem – vodivý roztok spojující anodu a katodu. V uvedené soustavě anoda vysílá do

prostředí více iontů, než sama přijímá. U katody je to přesně naopak. Proto se anoda rozpouští, zato katoda zůstává nedotčena, nebo nabývá. [12]

Katodická ochrana

Při katodické ochraně je do blízkosti chráněného předmětu – katody, umístěn materiál s menším elektrodoým potenciálem - anoda. Ta je tzv. obětována. Pro ochranu oceli se používá obětovaná elektroda ze Zn, Al, Mg. Druhý způsob katodické ochrany se provádí pomocí stejnosměrného elektrického zdroje. Chráněný předmět je připojen na katodu a anoda je zhotovena z málo rozpustného vodivého materiálu (grafit, olovo, titan, korozivzdorné oceli).

Anodická ochrana

Anodická ochrana je používána u materiálů, které snadno vytvářejí pasivní vrstvu. Chráněný materiál se stává anodou a silnou polarizací se posune jeho elektrodoým potenciál do oblasti pasivity.

-	elektrodoým potenciál prvků	+
Mg	Al Zn Cr Fe Cd Ni Sn Pb H Cu Ag Au	

Obr. 5: elektrodoým potenciál prvků

1.7.5 Ochrana povlaky

Jde o nejrozšířenější způsob protikoroziční ochrany. Tato ochrana je také nejlevnější a nejjednodušší na aplikaci. Další výhodou je možnost navrhnout materiál s potřebnými vlastnostmi bez ohledu na jeho odolnost vůči korozi. Dále je možné zlepšit i estetickou stránku výrobku. Podle funkce se povlaky dělí:

1. Povlaky izolující základní materiál od korozičního prostředí. Jedná se o povlaky zcela souvislé a nepórovité. Patří sem povlaky z keramických smaltů, povlaky na oceli z ušlechtlejších kovů, povlaky z plastů a pryží. [12]
2. Povlaky chránící základní materiál částečně na základě své elektrochemické funkce. Má-li povlakový kov vzhledem k základnímu materiálu záporný potenciál, vytvoří v póru anodu, rozpouští se a koroziční zplodiny zabraňují dalšímu pronikání korozičního prostředí k základnímu materiálu. Příkladem takové koroze je koroze pozinkovaného nebo pocínovaného ocelového plechu. [12]
3. Povlaky z materiálu mající schopnost odstraňovat z prostředí některé jeho složky, urychlující korozi. Do tohoto typu patří nátěry, které jsou vždy propustné pro vodu a kyslík. Ochranná schopnost spočívá v tom, že základní nátěrová hmota obsahuje inhibitory. Ty vážou kyslík, vytvářejí pasivační vrstvu. [12]

Technologický postup při vytvoření povlaku

- čištění a úprava povrchu (kartáčování, moření, odmašťování, tryskání, broušení, leštění)
- vytváření povlaku (kovový, nekovový, keramický)
- konečná úprava povrchu (leštění apod.)

Kovové povlaky

Z hlediska hodnocení ochrany kovových povlaků jsou důležité dva faktory: tloušťka vrstvy a její poréznost. S rostoucí tloušťkou povlaku se snižuje počet korozně významných porů a roste životnost výrobku. Nanášení těchto povlaků se nazývá pokovování. To se podle nanášení dělí:

Chemické – vytvoření tenké vrstvy chemické sloučeniny se základním kovem. Kovové povlaky se vylučují bez účinku vnějšího zdroje elektrického proudu, pouze vlivem chemické reakce, kdy se kov s nižším potenciálem potáhne povlakovým kovem s vyšším potenciálem vyloučeným z roztoku soli. Nejčastější chemická povrchová operace je niklování. Nikl je dobře přilnavý, a stejnoměrně pokrývá libovolné tvary jako např. dutiny, závitů apod. [12]

Galvanické – pomocí elektrolýzy. Anodou je ochranný materiál, který se rozpouští a je vylučován na katodě - základním materiálu. Tímto způsobem je možné pokovovat všechny běžné konstrukční oceli a pro dekorativní účely i některé plasty. [12]

Žárové pokovování – ponořením materiálu do roztavené kovové lázně příslušného ochranného kovu, jehož teplota je nižší, než je bod tání základního materiálu. Důležitý je dokonale očištěný povrch, zbavený všech oxidů a jiných nečistot mořením. Častý materiál používaný u žárového pokovování je zinek, cín. Žárové cínování slouží jako ochrana proti atmosférické korozi, vodě a organickým kyselinám. Žárové zinkování pak jako ochrana proti vlivům atmosféry. Žárové hliníkování se používá jako náhrada cínování, zinkování při výrobě pásů a drátů. Žárové pokovování je hojně využíváno v chemickém průmyslu. [12]

Metalizování – neboli šopování je nanášení jemných částic vysokou rychlostí na zdrsňený povrch základního materiálu. Jsou použity stříkácí pistole se stlačeným vzduchem. Částičky k povrchu mechanicky přilnou a vytvoří ochrannou vrstvu libovolné tloušťky. Jako povrchový materiál pro ochranu chemických zařízení je používáno olovo, hliník jako protikorozní ochrana potravinářského a chemického zařízení a vodních staveb. [12]

Difúzní – nasycování povrchu základního materiálu jiným kovem. Difúzní procesy jsou možné pouze, pokud oba materiály tvoří tuhé roztoky. Nejpoužívanější jsou povlaky zinkové, hliníkové a chromové. [12]

Kondenzační – ochranný materiál je přeměněn na páru, která je vedena proudem netečného plynu na základní materiál. Ten má nižší teplotu a proto zde dochází ke zkapalnění plynu. Celý proces probíhá ve vakuu. [12]

Povlaky ze smaltu

Při tomto druhu ochrany je na základní kov nanášen skelný povlak, tzv. smalt. Smalty jsou sklovité látky, u nichž jsou chemické a fyzikální vlastnosti upraveny, aby po natavení přilnuly k povrchu kovů a vytvořily tak dobrou antikorozi vrstvu. Jako u všech povrchů musí být povrch očištěný. Samotný smalt se nanáší poléváním, máčením nebo stříkáním. Způsoby nanášení se dále dělí na suché a mokré. Při suchém způsobu se smalt nanáší na suchý předmět. Ten se poté vysuší v peci, a na rozžhavený se sypou částičky krycího smaltu. U mokrého způsobu je začátek postupu stejný. Po vypálení se výrobek nechá zchladnout, a poté je na něj, pomocí nástřiku nanášen mokrá krycí smalt. Výrobek se podruhé vypaluje. Povlak může být jednovrstvý nebo vícevrstvý (základní smalt a jedna či více vrstev krycího smaltu). [12]

Povlaky z plastů a pryží

Nejčastěji se nanáší ve formě prášků přímo na ohřátý povrch, na kterém se nataví a vytvoří ochranný povrch. Povlaky vytváříme z řady polymerů, jako např. polyvinylchloridu, polyetylen, polyamidu, akrylátů, teflonu, celulózy a různých směsí z přírodních a syntetických kaučuků. Povlaky z plastů nejčastěji nanášíme žárovým stříkáním ve fluidním poli. [12]

Nekovové anorganické povlaky

Jsou to uměle vytvořené povlaky oxidů, fosforečnanů a chromanů kovů. Jejich podstatou je vytvoření tenké vrstvy z povrchu vlastního základního kovu nebo povlaku v příslušné lázni chemickou popř. elektrochemickou reakcí. Zvětšujeme tím odolnost proti korozi, přilnavost nátěrových hmot k základnímu materiálu a také se využívá jako dekorační úprava povrchu předmětu. [12]

Oxidická vrstva – vytváří se chemickou oxidací pro zlepšení vzhledu výrobků z nelegovaných ocelí, ale účinek ochrany proti korozi je malý. [12]

Eloxování – je úprava povrchu hliníku oxidací (vytvoření oxidu hlinitého působením elektrolytu). Tato vrstva je velmi tenká, tvrdá, odolná mechanickému opotřebení, nevodivá a korozivzdorná. [12]

Fosfátová vrstva – vzniká chemickou reakcí základního kovu zejména oceli a zinku s fosforečnany, při které vznikají povlaky krystalických fosforečnanů. Výhodou fosfátování je nízká cena. Používá se běžně pod nátěry ke zvýšení odolnosti proti atmosférické korozi. Nevýhodou fosfátování je hrubý povrch, ale toho se může využít tam, kde chceme snížit tření, neboť fosfátovaný povrch dobře drží mazadlo. [12]

Chromátová vrstva – vytváříme v lázních, které obsahují kyselinu chromitou. Rozšířené je chromátování pozinkovaných výrobků, kdy se v podstatě zvyšuje odolnost proti korozi. Chromátová mezivrstva podstatně zvyšuje přilnavost organického nátěru a zabraňuje rezavění pod nátěrem. [12]

Nátěrové hmoty

Nátěrové hmoty jsou nejstarším, nejužívanějším a stále nejekonomičtějším prostředkem k povrchové ochraně proti korozi. Tvoří asi 80% všech povlaků.

1.8 Nátěrové hmoty

Jejich ochranné vlastnosti spočívají hlavně v izolaci kovového předmětu od vnějšího prostředí a v inhibičních vlastnostech. Vytváření povlaků nátěrovými hmotami je relativně levný proces, nevyžadující mimořádné investice. Nátěry kovů nejsou omezeny tvarem ani rozměry výrobku. Nátěrovými hmotami chráníme povrch výrobků vytvářením jedno, nebo více vrstvého povlaku. Nátěr je hotový, ucelený ochranný povlak, jedné nebo několika vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu předmětu. Mezi hlavní způsoby nanášení nátěrových hmot patří: natírání, máčení, polévání, bubnování, navalování, stříkání, elektrochemické nanášení, clonování, polévání, máčení, elektrostatické práškové nanášení, fluidní práškové nanášení. [10]

Podle účelu nátěru rozeznáváme:

- Nátěr ochranný – olejivzdorný, odolný povětrnosti, mořské vodě, chemickému prostředí, vysoké teplotě, apod.
- Nátěr dekorativní – čerínkový, krystalový
- Nátěr signální – pro bezpečnostní návěští
- Nátěr maskovací – kamuflážní
- Nátěr speciální – elektrovodivý, světélkující [10]

1.8.1 Složení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty jsou organické látky různých druhů, které nanášeny v tekutém, nebo těstovinovém stavu, vytvoří na předmětu film požadovaných vlastností. Nátěrová hmota může být transparentní nebo pigmentovaná. [10]

A) Transparentní - zanechává průhledný nátěrový film (lak nebo fermež)

B) Pigmentovaná - tvořící neprůhledný film

- email - s nízkým obsahem pigmentů
- tmel - má plnit nerovnosti kovového povrchu
- barva - s vysokým obsahem pigmentů [10]

Nátěrová hmota se skládá z těchto složek:

A) Pojidla – udělují nátěrové hmotě charakteristické vlastnosti a skládají se z filmotvorných látek a rozpouštědel. [10]

B) Pigmenty – jsou látky anorganické a organické povahy, které ovlivňují zbarvení nátěrové hmoty a působí jako inhibitory koroze především u základových barev. Tyto látky jsou častou příčinou závadnosti nátěrových systémů, neboť obsahují látky jako olovo a šestimocný chrom. Ze zdravotního hlediska je doporučován jako antikorozi pigment fosforečnan zinečnatý. [10]

C) Plnidla – jsou jemně rozemleté minerální látky, v pojidlech nerozpustné, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrové hmoty. [10]

D) Aditiva – jsou pomocné látky jako sušidla, stabilizátory, zvláčňovadla. [10]

E) Filmotvorné látky – vytvářejí po zaschnutí souvislý film, který chrání kov od okolního prostředí. Patří sem vysychavé oleje (rostlinné, živočišné, syntetické), pryskyřice přírodní (kalafuna, šelak), pryskyřice umělé (alkydy, epoxidy), deriváty celulózy (nitrát celulózy, acetát celulózy) a asfalty. [10]

F) Rozpouštědla – lze v nich filmotvorné látky rozpouštět a umožňují nanášení nátěrových hmot. Jsou to například lehký benzín, alkohol, toluen, xylen. Tyto látky mají negativní vliv na životní prostředí a zdraví lidí, a proto je snaha tyto látky co nejvíce omezit. Tomu odpovídá orientace na vodou ředitelné nátěrové hmoty, práškové nátěrové hmoty a nátěrové hmoty s vysokým obsahem sušiny (nad 80%). [10]

1.8.2 Antikorozi účinnost nátěrových hmot

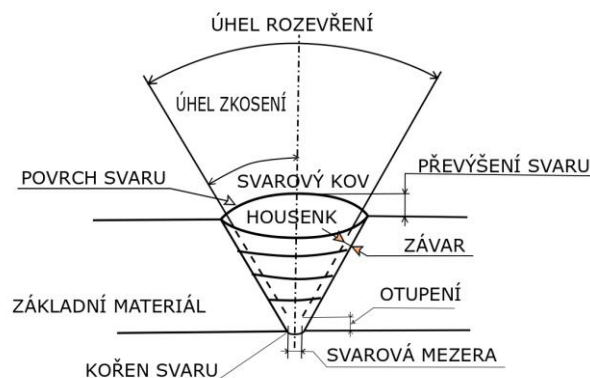
Antikorozi účinnost nátěrových hmot spočívá v izolování kovového základu od vnějšího prostředí. Na tyto mechanické ochranné vlastnosti má vliv jejich tloušťka. Čím je tato tloušťka větší, tím je menší nebezpečí pórovitosti povlaku. Většina nátěrů je totiž částečně pórovitá. Běžné druhy nátěrů působení koroze úplně nezabraňují, jenom ji zpomalí. Takže k ochraně proti korozi je třeba použít takových nátěrových hmot, které kromě pojidla, odolného proti povětrnostním vlivům a stárnutí, obsahují vhodné látky zpomalující korozi pochody, které mají buď:

- pasivační účinek na povrch kovu
- inhibiční účinek proti korozi

Inhibiční účinek mají tzv. antikorozi pigmenty. Nejzásadnější je suřík olovnatý, který tvoří nejstarší a nejčastější pigment. Kromě toho jsou i pigmenty inertní, bez protikorozi účinnosti (slída, grafit), které zlepšují mechanické vlastnosti nátěrů. Neméně důležitý je požadavek dobré přilnavosti nátěru s inhibičním pigmentem, který by se neuplatnil, kdyby nedošlo k úplnému styku kovového povrchu s nátěrem. Zvláště vynikající ochranu poskytují nátěry, jsou-li nanášeny na vrstvu nastříkaného hliníku nebo zinku. [10]

2. Svarové spoje

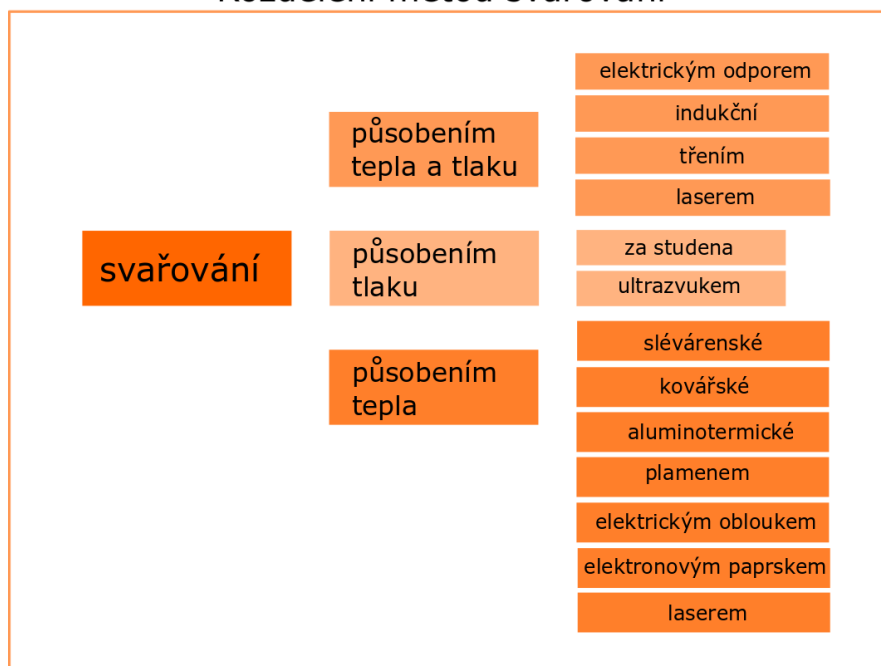
Jedna ze základních metod spojování materiálu. Působením tepla, nebo tlaku, a případně při použití přídavného materiálu obdobného složení jako má základní materiál, vznikají nerozebíratelná spojení. Tyto spojované části jsou jednoduchých tvarů, většinou z tvářených hutních polotovarů (tyče, pásy, plechy, trubky a jiné profily), někdy i z výkovků nebo z odlitků. Takto vzniklé polotovary se nazývají svařence, resp. svarky, které se ve většině případů dále zpracovávají – zejména obráběním. [4]



Obr. 6: tupý svar

Sváření nepatří mezi nejjednodušší technologie, v konečném důsledku ale často vede k velice efektivnímu použití, kdy z několika jednoduchých částí lze vyrobit složitější těleso s velkou úsporou materiálu a času. Mezi další výhody patří velká pevnost, trvanlivost a těsnost výsledného svarku. V porovnání s odlitkem je možné ušetřit materiál v řádu desítek procent. Svařování také zvyšuje produktivitu práce, podstatně zkracuje výrobní časy a často se používá v kusové a malosériové výrobě pro rychlou realizaci konstrukčních návrhů. Má také nezastupitelné místo v opravárenství, kde umožňuje renovaci funkčních částí. Nevýhodou je nerozebíratelnost spojů, změna struktury a tím i mechanických vlastností svarových spojů a dále vznik vnitřních pnutí a deformací, popřípadě výskyt vnitřních vad materiálů. Pro realizaci je třeba kvalifikovaných pracovníků – techniků i dělníků. Svařování se používá téměř ve všech výrobních oborech a to jak při výrobě a kompletaci nových strojů a velkých konstrukčních celků – ocelových konstrukcí, tlakových nádob, kotlů, parních generátorů, jaderných reaktorů, mostů, lodí a jiných dopravních prostředků, tak i při opravách. Jeho rychlý rozvoj zejména v minulém století umožnil realizaci řady významných projektů – mezi jinými i stavby kosmických lodí a jaderných reaktorů. Postupně bylo vyvinuto velké množství metod svařování a dalších jejich modifikací, z nichž mnohé mají široké použití, jiné jsou naopak vhodné pro zcela specifické účely. Výběr správného druhu svařovací operace závisí především pak na druhu materiálu, druhu spoje, tloušťce spoje, požadovaném profilu svaru, omezení kladené výrobou, dostupnosti vybavení, kvalifikace pracovní síly, nákladech na spotřební materiál, nákladech na práci. Rozdělení jednotlivých druhů svařovacích operací viz tabulka níže. [4, 15, 16]

Rozdělení metod svařování



Obr. 7: rozdělení metod svařování

Ke korodování svarových spojů dochází i za předpokladu, že byly vybrány vhodné základní a svařovací kovy, byly dodržovány průmyslové postupy a spoje mají vhodný tvar i velikost. Při heterogenním svařování může nastat situace, kdy jeden materiál je odolný vůči prostředí ale druhý nikoli. [4]

2.1 Mikrostruktura svarových spojů

Pro mikrostrukturu svaru a oblasti okolo něj (TOO) je typický obrovský teplotní rozdíl v malé vzdálenosti. Účinek svařování je možné vysvětlit současným působením tepla a deformací. Materiál je v místě svařování roztaven (teploty přesahující 1000 °C). V TOO teplota exponenciálně klesá. V jednotlivých oblastech svarového spoje probíhají změny, odpovídající diagramu Fe-Fe₃C. V závislosti na rychlosti ochlazování svarového spoje je v okolí svaru struktura odlišná od struktury základního materiálu. Při velké rychlosti ochlazování může u některých druhů ocelí dojít ke vzniku zákalné struktury a trhlin v TOO, popřípadě i ve svarovém kovu. Po svařování se mnohdy provádí žíhání ke snížení pnutí a někdy normalizační žíhání, které zlepšují strukturu svarového spoje. Výsledkem tepla přivedeného do svaru jsou deformace a vnitřní pnutí ve svarovém spoji. Jejich velikost lze snižovat konstrukčními a technologickými opatřeními. Rozlišují se deformace podélné, příčné a úhlové. [4]

2.1.1 Zóny svarových spojů

- Zóna svaru
- Tepelně ovlivněná oblast (TOO)
- Tepelně neovlivněný základní materiál

Zóna svaru

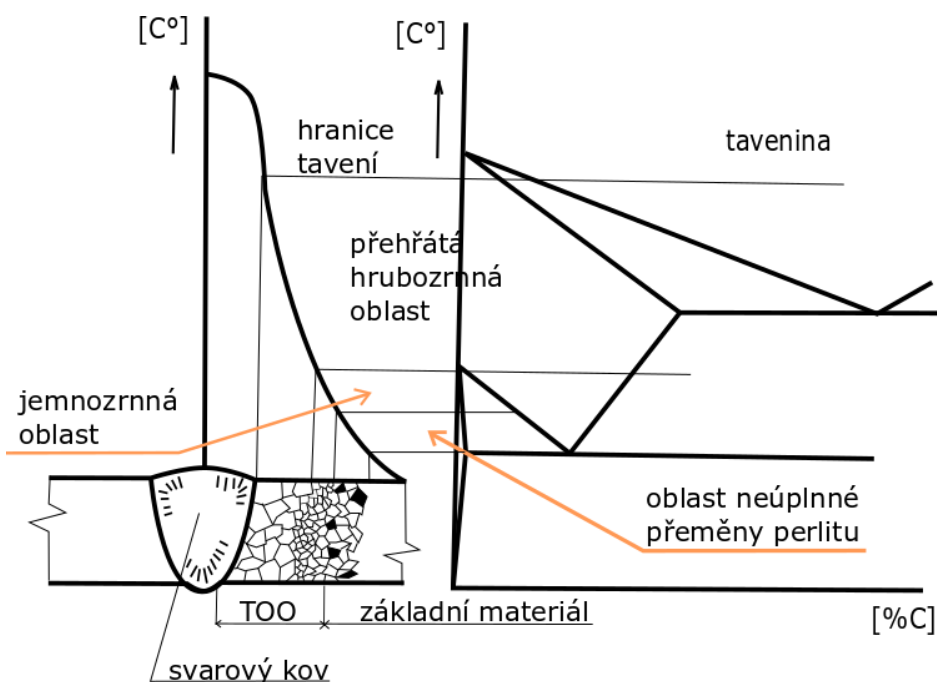
Je výsledkem tání, při kterém se promíchává základní materiál s materiálem přídavným. Složení této zóny se většinou nejvíce liší od základního materiálu. Tento rozdíl produkuje galvanický pár, který může ovlivnit korozi v blízkosti svaru. Tento nesourodý kovový pár může produkovat makroskopickou galvanickou korozi. [4]

Tepelně ovlivněná oblast

Neboli TOO. Jedná se o oblast základního materiálu, kde teploty jsou dostatečně velké ke změně mikrostruktury, ale příliš nízké k jeho roztavení. Každé místo v této oblasti má na rozdíl od zóny svaru unikátní mikrostrukturu a tudíž i citlivost na korozi. [4]

Tepelně neovlivněný základní kov

Základní kov, který nebyl podroben žádné metalografické změně, přesto je zde stejně jako ve zbytku svaru příčné a podélné smršťovací napětí. [4]



Obr. 8: změny ve struktuře po svařování a graf Fe-3C

2.2 Svařovací postupy k minimalizaci koroze

Optimální výběr materiálu a svařovacího postupu je nedílnou součástí při výrobě korozivzdorného svaru. Další preventivní opatření, která minimalizují možnost koroze ve svarech, jsou: Úplné pronikání svaru, odstraňování stresu po svařování, odstraňování strusky, zamezení tvorby štěrbin, ostrých zářezů a drsných povrchových úprav a galvanických párů. [8]

2.2.1 Výběr materiálu a návrh svařování

Výběr materiálu

Volba materiálu je jednou z nejdůležitějších a nejtěžších částí návrhu výrobku, se kterou se může konstruktér setkat. V dnešní době je možné vybírat z širokého výběru materiálů, které jsou pro většinu výrobků dostačujících, pokud tyto materiály nesplňují požadavky zákazníka, navrhne se materiál nový, případně se upraví parametry již existujícího pomocí úpravy výrobního postupu. Výběr vhodného materiálu většinou probíhá ve třech etapách. První se nazývá etapa koncepčního návrhu. Zde je vybrána široká skupina materiálů, splňující základní podmínky a omezení, např. pracovní teplotu, odolnost proti korozi v daném prostředí apod. V druhé fázi jsou z této skupiny vybrány materiály, které vyhovují požadavkům na nejlevnější technologii tváření, svařování, povrchovou úpravu, cenu apod. V posledním kroku se vybere jeden, nebo několik nejlépe vyhovujících materiálů. Zatímco v první etapě konstruktér pracuje s přibližnými údaji o co největším množství materiálů, zvažuje různé koncepční varianty, ve druhé už pracuje s přesnějšími údaji, které lze nalézt v materiálových databázích, a ve třetí, neboli fázi detailního návrhu potřebuje znát co nejpřesnější údaje o jednom, popřípadě několika materiálech. [4, 8]

Svařitelnost materiálu

je komplexní charakteristika, která vyjadřuje vhodnost kovu vytvořit spoj. Dělí se na: materiálovou – chemické složení, konstrukční – tloušťka průřezu a technologickou – metoda svařování. Pro posuzování svařitelnosti ocelí je nutné znát tzv. uhlíkový ekvivalent (C_e). Pomocí něho pak lze rozdělit oceli do čtyř skupin: se zaručenou svařitelností, s podmíněnou svařitelností, s dobrou svařitelností a s obtížnou svařitelností. Pro uhlíkové oceli $C < 0.22\%$ do 25 mm bez předehřevu, pro $C > 0.5\%$ se nedoporučují vůbec. Pro legované oceli $C_e < 0.5\%$, pro korozivzdorné ocele se provádí Schafflerův výpočet. [4]

$$C_e = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15}$$

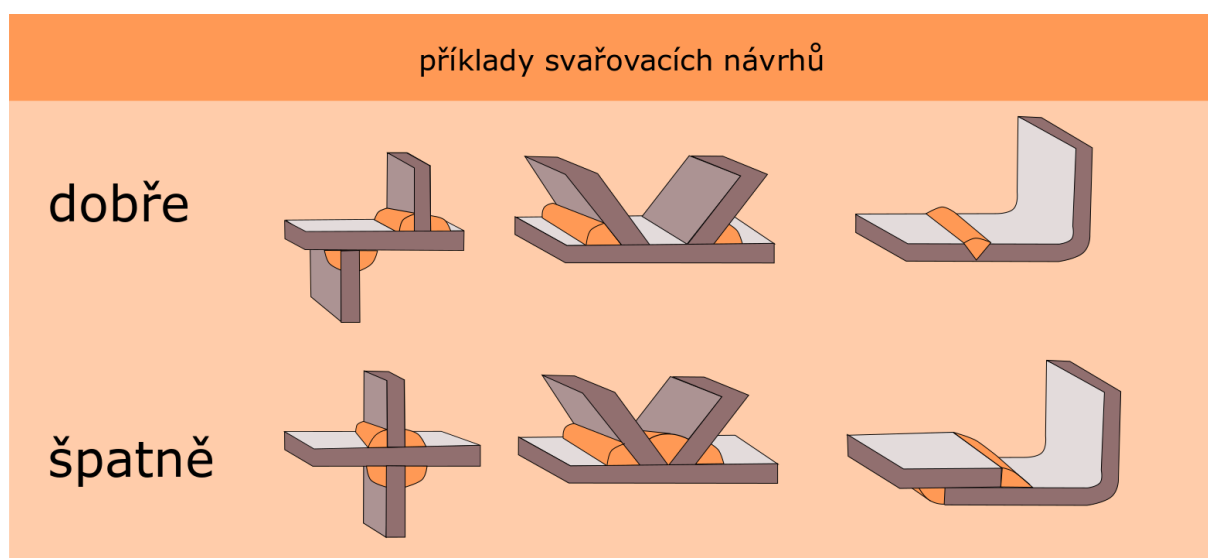
Výpočet uhlíkového ekvivalentu [8]

Výběr stejného nebo podobného svařovacího a základního materiálu sníží rozdíl ve složení po svařování, čímž se sníží galvanické podmínky.

Návrh svařování

Jde o celkový návrh svařované konstrukce, při kterém se konstruktér řídí několika základními pravidly. Minimální počet svarů, svary kolmě ke směru působící síly, svary nehromadit a nekřížit, velké svařence skládat z menších, co nejkratší a nejmenší svary, dlouhé svary, pokud je to možné, přerušovat. Nepoužívat velké množství výztuh umístěných blízko u sebe (riziko pnutí a deformací), dále u nich není vhodné používat ostré hrany, řešením je jejich srážení. Svary navrhovat tak, aby je nebylo nutné obrábět, pro koutový svar sklon elektrody 45°

a u $1/2V$ 30° . Konstruktor musí myslet na dobrý přístup ke všem plochám a hranám u hotového svařence například z důvodu jeho pozdějšího otryskávání a natírání. Velkým problémem při svařování jsou tepelná pnutí a deformace. Z tohoto důvodu se u přesných výrobků provádí finální opracování až po sváření, případně se svařenec před operací žihá. Dále jsou vybrány tvary svarů. Mezi nejčastější patří Y-svar, I-svar a V-svar. Výběr z těchto tupých svarů závisí na tloušťce spojovaného materiálu. Při špatné volbě hrozí vznik štěrbin, velkého vnitřního pnutí, tuhosti a nepoddajnosti spoje. [5]



Obr. 9: konstrukce svarů

2.2.2 Příprava povrchu a proces svařování

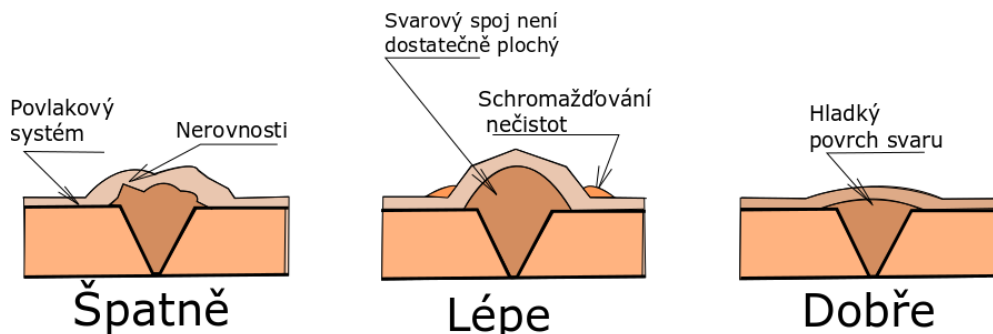
Příprava povrchu

Po zvolení konstrukce svaru následuje u většiny tvarů zkosení hran dle příslušné normy a u každého tvaru je pak doporučený druh svářecí metody. Následuje čištění hran, které může probíhat mechanicky, nebo chemicky. Všechny kontaminující prvky a směsi na svařovaných plochách musí být odstraněny, jinak hrozí riziko vzniku vad ve svaru, prasklin a snížení odolnosti proti korozi TOO a samotného svaru. Mezi nejnebezpečnějšími prvky patří síra, fosfor a všechny ty, které mají nízkou teplotu tání, jako například Pb, Sn, Zn, Sb, Bi. Při jejich výskytu se zvyšuje riziko vzniku trhlin. Odstranění uhlíku a uhlíkových materiálů z povrchu je další důležitým faktorem pro správnou korozní odolnost. Při jeho ponechání by se mohl rozpustit v nataveném kovu. Vznikla by oblast se zvýšeným výskytem uhlíku, který snižuje místní korozní odolnost. V neposlední řadě může dojít ke kontaminaci povrchu pomocí organických látek, jako například dotek ruky. Je potřeba dbát na to, aby proces čištění nevedl k dalším problémům.

Proces svařování

Proces samotného svařování se může rozdělit na ruční a automatizované. Při ručním svařování jsou důležité zkušenosti a šikovnost svářeče a kvalita svarů se liší dělník od dělníka. Druhů svařování je veliké množství a u každého je proces samotného svařování trochu jiný. Důležité je dodržování postupu, hlavně pak teplota plamenu, rychlost posuvu a rychlost

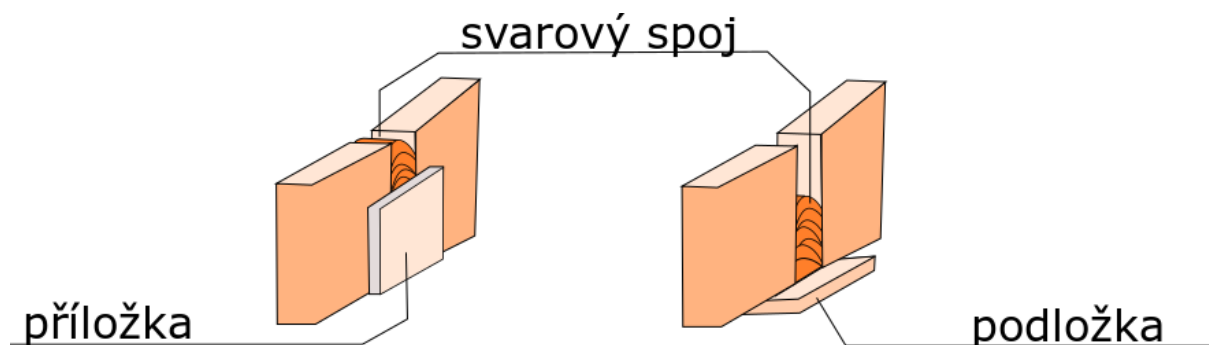
přidávání přídavného materiálu, průměr přídavného materiálu, ochranný plyn a poloha svařování. [4, 8]



Obr. 10: svarový spoj

2.2.3 Použití podkladového materiálu

Podložky, nebo příložky jsou z pravidla ze stejného materiálu, jako je základní kov. Hrají důležitou roli pro kvalitní svar. Příložky se používají na začátku svařovací operace, kdy je svarový spoj náchylný na požadovanou jakost a je zde velká náchylnost ke vzniku trhlin a koroze. Tyto pomocné části se následně odříznou. Podložky se umísťují pod svařované části hlavně tehdy, svařuje-li se daná součást pouze z jedné strany. Zabraňují stékání svaru. [8]



Obr. 11: ukázka použití podkladového materiálu

2.2.4 Povrchová úprava svařeného povrchu

Před i po samotném procesu svařování následuje očištění materiálu. Pro maximální odolnost proti korozi musí být povrch hladký, rovnoměrně oxidovaný a bez nepravidelností a jiných cizích částic. Může být použitý mechanický postup: broušení může být použito pro vyrovnání nerovností a rozstřík svaru, zatímco drátěný kartáč může být použit k vyhlazení povrchu. K čištění nerezových ocelí se však nedoporučuje, jelikož nedojde k dokonalému vyčištění povrchu, dále pak dochází k rozmazání části okují po celém povrchu, Tyto místa jsou pak náchylnější na korozi. Při mechanickém čištění se také zvětšuje napětí v materiálu. Druhým typem úpravy povrchu je metoda chemická. Ta je díky své variabilitě vhodnější. Mezi výhody patří dokonalé vyčištění povrchu a sjednocení vzhledu. Mezi chemické metody patří moření, pasivace a dekontaminace, leštění a elektroleštění. [8, 21]

2.2.5 Moření, pasivace a dekontaminace

Moření

Jedná se o chemické čištění materiálu. Používá se pro odstranění kontaminace železem a oxidů z povrchu. Dále odstraňuje oblasti s menší odolností vůči korozi, například se spotřebovaným chromem. U svařenců odstraňuje okuje a náběhovou barvu. Pro moření je obvykle použita směs obsahující kyselinu dusičnou (HNO_3), kyselinu fluorovodíkovou (HF), nebo kyselinu sírovou (H_2SO_4). Kvůli obavám z rizika důlkové koroze je třeba se vyhnout směsím obsahujícím chlór, například kyselinu chlorovodíkovou (HCl). Díky vysoké variabilitě a účinnosti je možné dosáhnout vysoké čistoty a sjednoceného vzhledu na celém povrchu materiálu za přijatelnou cenu. Existují tři základní typy nanášení: moření ponorem v lázni, moření postřikem a moření pastou. Všechny tři typy si jsou při správném postupu co do výsledné kvality rovny. Moření v lázni probíhá ponořením dílů do mořící lázně. Hlavní výhody tohoto druhu jsou v maximálně jednotném vzhledu a úspoře mořícího produktu. Je zde ovšem omezení ve velikosti dílů, které se musí vejít do mořící vany. Tato nevýhoda mizí ze zbylými dvěma typy. U moření postřikem je možné použít aplikační zařízení, nebo jednoduchou postřikovou lahev s pumpičkou. Zde je nutné, aby pracovník měl na sobě kromě klasických ochranných pomůcek i kyslíkovou masku. Velikou výhodou je moření přímo u zákazníka. Pro moření svarů se často používá mořící pasta. Mořící pasta je nejvíce přístupný typ moření. [8, 19, 20]

Při postupu moření jsou hlavní sledované faktory následující: třída oceli, předčištění, teplota moření, kompozice a koncentrace směsi kyselin, způsob moření. Při moření vysoce legovaných ocelí je doporučeno mechanické předčištění za účelem narušení, nebo odstranění oxidů. Za účelem vzniku co nejmenší vrstvy oxidů je potřeba vybrat správný typ svařování, důležitý je typ svařovací atmosféry, nejlépe, pokud neobsahuje kyslík. [8, 20]

Pasivace a dekontaminace

Pasivační proces je takový, který vytvoří na povrchu materiálu oxidickou ochrannou vrstvu. Ta je sama antikorozi a zabraňuje jiné narušení kovu. Tento proces může být přirozený, nebo řízený. Čistý ocelový povrch nerezových ocelí, pokud je vystaven prostředí bohatého na kyslík, má tendenci se pasivovat sám. U nelegovaných a nízkolegovaných ocelí naproti tomu tento proces přirozeně neprobíhá. Pro řízený proces pasivace se používají silně oxidační prostředky jako kyselina dusičná, nebo kyselina citrónová. Pro úspěšný vznik pasivační vrstvy je nezbytné splnění následujících podmínek: Povrch bez okují, odstranění o chrom ochuzených oblastí, čistý povrch (bez organických nečistot, olejů a maziv). U přirozené pasivace (autopasivace) je také důležitý obsah chromu, uhlíku, legujících prvků jako je nikl, molybden, dusík, titan a bezproblémového přístupu kyslíku. [8, 25]

2.2.6 Leštění, elektroleštění a odstranění zdrojů vodíku

Leštění a elektroleštění

Odstraňuje mikrošpičky materiálu, vytváří perfektní lesk a hladký povrch, který je korozivzdorný. Rozlišují se dva základní druhy. První je bez použití elektrického proudu, tj.

materiál se ponoří do speciální lázně, a je leštěn pouze chemicky – leštění. U druhého je elektrický proud použit elektrolytickým způsobem – elektroleštění, kdy leštěné výrobky jsou v lázni umístěny jako anody. [8, 21]

Odstranění zdrojů vodíku

Použitím svařovacích spotřebičů, jako jsou elektrody s elektrickým obloukem s nízkým obsahem vodíku, čištění svařovacích ploch a sušení tavidla, se snižuje přítomnost příjmu vodíku a tím se zabrání vzniku prasklin indukovaných vodíkem. [8, 21]

2.2.7 Žihání a aplikace povrchového povlaku

Žihání

Samotné žihání se skládá ze dvou kroků. Nejdříve se materiál zahřeje na předem stanovenou teplotu, na této teplotě je pak určitý čas udržován, a nakonec je schlazen. Druhým tepelným zpracováním je vícero druhů. Mezi hlavní patří žihání ke snížení pnutí. Tato metoda snižuje náchylnost k praskání při stresu. Dalším používaným druhem je žihání k odstranění vodíkové křehkosti. [8, 21]

Aplikace povrchového povlaku

Ochranný povrchový povlak aplikovaný na svařovaný kloub stejně jako základní kov minimalizuje šance lokalizované koroze, která může vzniknout v důsledku změn složení svarového kovu. [8, 21]

3. Korozní zkoušky

Zkoušky korozní odolnosti lze rozdělit na dlouhodobé a krátkodobé. Dlouhodobé probíhají v prostředí, pro který je materiál určen (chemický průmysl), nebo v místech s nepříznivějšími podmínkami (námořní lodě). Tato metoda je časově náročná, ale díky zahrnutí reálných dějů působících na konkrétním místě, výsledkově přesná. Zkoušení krátkodobé probíhá ve zkušební komoře, kde je prostředí agresivnější. Tato metoda je výhodná pro rychlejší výsledky. Další výhodou je možnost simulace přírodních dějů např. v klimatizačních komorách. [9]

3.1 Kondenzační test

Tato zkouška se provádí dle normy ČSN 03 8131. Je možné ji charakterizovat jako expozici zkušebních vzorků v prostředí s mírně zvýšenou teplotou (obvykle +40 °C) a takřka se 100% relativní vlhkostí. Tato relativně jednoduchá zkouška je velmi vhodná pro povrchové úpravy typu nátěrů, používá se také k hodnocení ochranné účinnosti konzervačních prostředků, případně i dalších typů povrchových úprav. Pro úpravy, které mají obecně vyšší míru protikorozní odolnosti, nebo tam, kde je zapotřebí simulovat průmyslové prostředí obsahující sloučeniny síry jako významné korozní stimulatory, bývá tato zkouška modifikována tak, že zkušební atmosféra je doplněna o oxid siřičitý. Průběh zkoušky je buď konstantní, nebo

cyklický, kdy jsou díly vystaveny po určitou dobu korozně agresivní atmosféře s přítomností SO_2 a následně fázi odvětrání, přičemž tento cyklus se několikrát opakuje. [9]

3.2 Zkoušení v solné mlze

Podle normy ČSN EN ISO 9227. Zkouška solnou mlhou byla poprvé standardizována již v roce 1939 v USA a v současnosti reprezentuje určitý standard v oblasti korozních zkoušek a hodnocení protikorozní odolnosti. Tato zkouška spočívá ve vystavení vzorku jemné aero soli (slané mlze), která je vytvářena z atomizovaném roztoku NaCl v demineralizované vodě. Tento postup se časem upravoval a vzniklo mnoho modifikací spočívající ve změně koncentrace NaCl, změně zkušební teploty, hodnoty pH, chemického složení solanky a také změny z kontinuálního průběhu zkoušky na zkoušky cyklické, které zařazují do zkušebního postupu fáze odvětrání (aklimatizace), vysoušení, kondenzace apod. [9]

4. Testy mezikrystalové koroze

4.1 Chemický

Materiál je vystaven působenímu vysoce oxidační látky. Při tomto působení dochází ke zvýraznění zkorodovaných oblastí. Testy se používají u slitin, které jsou použity jako konstrukční, a které přijdou do styku s chemikáliemi. Nejčastěji používaným testem je Straussův test (ČSN EN ISO 3651-2), při tomto testu je materiál vystaven kyselině sírové obohacené o Cu^{2+} . Tento test je, v důsledku slabého napadení, doporučen pro vysoce zcitlivěné materiály. Druhým testem je test podle Streichera. Tento test využívá kyselinu sírovou v koncentraci až 50%, k urychlení oxidace materiálu je zde použit Fe^{3+} . Doba trvání těchto testů se pohybuje v řádu dnů. Třetím testem je Oxalic Etch Test, ten byl vyvinut jako rychlá alternativa. Vyleštěný vzorek je anodicky leptán v 10% kyselině šťavelové po dobu 1 minuty. Následně je vzorek zkoumán mikroskopicky. Výhoda tohoto testu spočívá v jeho jednoduchosti a rychlosti. Při zjištění zcitlivění na korozi je ovšem nutno provést jeden ze dvou předchozích testů na upřesnění. [22]

4.2 Elektrochemický

U elektrochemického typu zkoušení se využívá rozdílu elektrochemických vlastností v oblastech ochuzených o Chrom a zbytku materiálu. Mezi nimi vzniká elektrostatický potenciál, který může být změřen pomocí potenciometru. Ten je navíc při měření v horké kyselině sírové zvětšený. Přítomnost zcitlivění materiálu se projeví na tvaru potenciodynamické křivky. Pro toto měření je možno použít thiokyanatan (KSCN) pro odstranění nutnosti použití horké kyseliny. Měření se provádí v $0.5\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0.01\text{M KSCN}$ při $30\text{ }^\circ\text{C}$. [22]

5. Závěr teoretické části

Povrchové úpravy se neustále vyvíjejí, zlepšují se jejich vlastnosti a snižuje se jejich cena. Jsou také neodmyslitelně spjaty s naším okolím. Prakticky neexistuje věc okolo nás, co by neměla povrchovou úpravu. Při správné aplikaci mohou prodlužovat životnost věcí v řádu desítek let, a tím nám ušetřit nevyčísitelnou sumu peněz. Nejde vždy ale jen o ně. Další důležitá věc, která musí být brána v potaz, je bezpečnost. Správné použití a vhodný typ povrchové úpravy může být právě tím rozdílovým faktorem, díky kterému nedojde ke zhroucení betonové lávky, nebo uniknutí radioaktivní vody z jaderné elektrárny. Všechny tyto nehody se přitom dost často neobejdou bez zranění, nebo dokonce ztrát na lidských životech. Koroze, tak jako třeba gravitace nebo smykové tření, je nedílnou součástí přírody. Je to proměnná, která z rovnic konstruktérů nezmizí nikdy.

Cíle experimentu

Cílem experimentální části bakalářské práce bude srovnání vybraných povrchových úprav z hlediska korozní ochrany svarových spojů. Hlavní body srovnání budou následující:

- korozní odolnost
- časová náročnost úpravy

6. Experimentální část

6.1 Návrh experimentu

V rámci experiment bylo připraveno 15 vzorků s pěti povrchovými úpravami. Cílem bylo porovnat vybrané povrchové úpravy z hlediska korozní ochrany svarových spojů. Každý vzorek se skládal ze základního materiálu (S235) a svarového spoje (G3Si1). Na dané svařence byly laboratorně aplikovány vybrané povrchové úpravy. K samotnému testování byla použita solná komora, kde byly vzorky vystaveny agresivnímu prostředí. Pozorovaným hlediskem byl vliv jednotlivých povrchových úprav na rychlost koroze. Celkový počet 15 vzorků s označením S235-1 až S235-15 s vybranými povrchovými úpravami v tabulce.

Vzorek	materiál	Rozměry (mm)	Povrchová úprava
235-1	S235	80x10x10	Elektrochemické niklování
235-2	S235	80x10x10	Elektrochemické niklování
235-3	S235	80x10x10	Elektrochemické niklování
235-4	S235	80x10x10	Chemické niklování
235-5	S235	80x10x10	Chemické niklování
235-6	S235	80x10x10	Chemické niklování
235-7	S235	80x10x10	Elektrochemické zinkování
235-8	S235	80x10x10	Elektrochemické zinkování
235-9	S235	80x10x10	Elektrochemické zinkování
235-10	S235	80x10x10	Chemické niklování a tepelná úprava
235-11	S235	80x10x10	Chemické niklování a tepelná úprava
235-12	S235	80x10x10	Chemické niklování a tepelná úprava
235-13	S235	80x10x10	inhibitor CrO ₃
235-14	S235	80x10x10	inhibitor CrO ₃
235-15	S235	80x10x10	inhibitor CrO ₃

Tab. 1: Vzorky

Potřebné vybavení:

Světelný mikroskop Zeiss, metalografická pila, metalografický lis Citopress 10 struers, automatická bruska Tegamin - 20, stereolupa Zeiss, kádinky na namíchání roztoků, kádinka na pokovení, zdroj elektrického proudu, dráty, váha, teploměr, kleště.

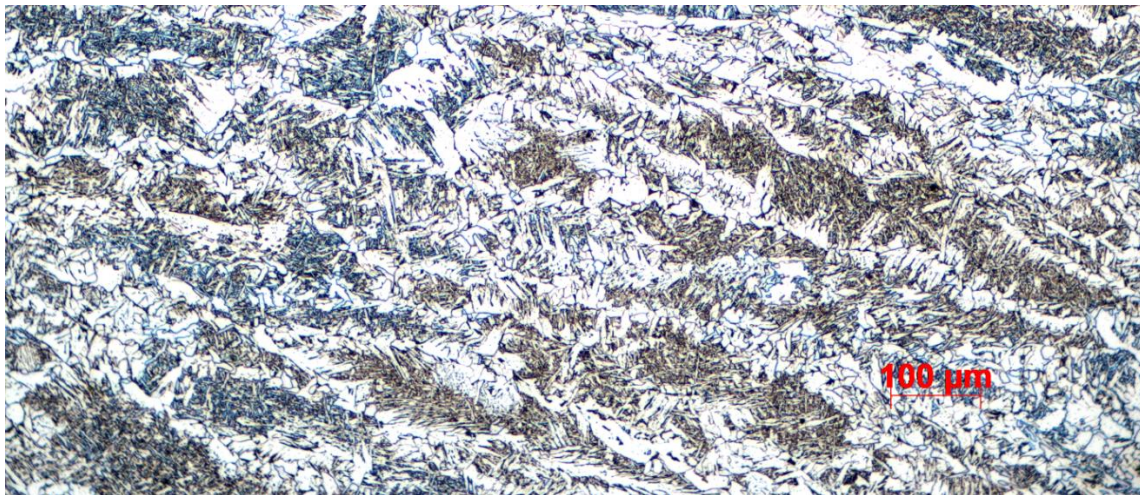
6.2 Materiály vzorků

Základní materiál - konstrukční ocel S235.

Jedná se o materiál s evropským standardem a zároveň o jednu z nejpoužívanějších ocelí napříč Evropou. Patří do skupiny svařitelných nelegovaných konstrukčních ocelí. Ty jsou používány pro méně namáhané strojní díly (ozubená kola, hřídele) a nosné konstrukce strojů. Mají zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnosti a předepsanou čistotu. Dále je u nich zaručené množství uhlíku, fosforu a síry. Českým ekvivalentem jsou ocele třídy 11: ČSN11375 a ČSN11378. Americkým je to pak ocel A283C. [26]

Chemické složení oceli S235					
Ocel	C %	Mn %	P %	S %	Si %
S235	0.22 max	1.6 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max

Tab. 2: Chemické složení oceli S235



Obr. 12: Mikrostruktura oceli S235

Přídavný materiál – drát G3Si1

Tento materiál je určen pro svařování nelegovaných ocelí metodou MAG a MIG. Typické použití tohoto drátu je při výrobě ocelových konstrukcí. Lze svařovat jak v atmosféře směšného plynu Ar/CO₂, tak i v čistém CO₂. Klasifikace svařovaného drátu: EN ISO 14341 - A: G3Si1. [28]



Obr. 13: Naleptaná mikrostruktura svarové oblasti pomocí 3% Nitlu

6.3 Výroba vzorků

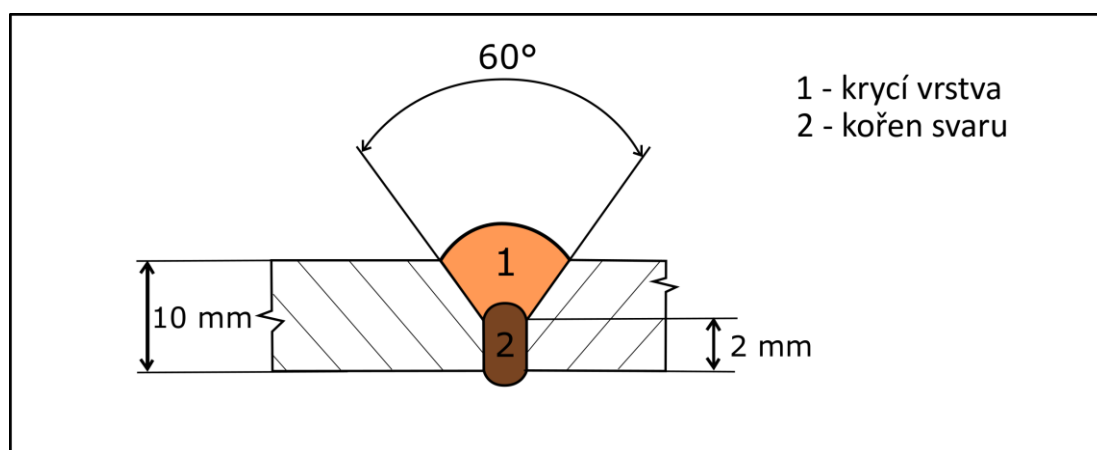
Pro práci byly použity vzorky, které se skládaly ze dvou desek oceli S235 a heterogenního svarového spoje. Ten byl proveden metodou MAG s parametry uvedenými v tabulce. Následně byl materiál nařezán vodním paprskem na hranolky o rozměrech 10x10x80mm.

Postup Svařování

Pro vzorky 235-1 až 235-8 byl použit následující postup svařování.

Metoda svařování	135	Poloha svařování	PF
Základní materiál	S235	Přídavný materiál	G3Si1
Tloušťka materiálu	10 mm	Průměr přídavného drátu	1 mm
Typ spoje	BW	Ochranný plyn	CO2
Tepelný příkon pro kořen	100 A	Tepelný příkon pro krycí vrstvu	130 A
Průtočné množství plynu	20 L	Rychlost svařování	4.5 m/min

Tab. 3: parametry svařování



Obr. 14: Geometrie svaru a postup svařování

6.4 Čištění vzorků a vizuální zkouška svaru

Pro zbavení vzorků okují, mastnoty a nečistot byl použit následující postup: Vzorky byly ponořeny do roztoku HCL s demineralizovanou vodou v poměru 1:2. Tomuto roztoku byly vystaveny po dobu 15 minut. Poté byly opláchnuty demineralizovanou vodou a etanolem. Nakonec byly vzorky vysušeny.

Před samotným experimentem byl od každé úpravy náhodně vybrán jeden vzorek, u kterého byla provedena vizuální zkouška. Tyto vzorky byly nařezány na metalografické pile Struers Discotom 6 a následně zapečeny do duroplastické pryskyřice v metalografickém lisu Citopress 10 Struers. Následně byly vzorky leštěny na automatické brusce Tegramin 20. Dalším krokem bylo leptání vzorků pomocí 3% roztoku Nitalu po dobu 1 sekundy. Díky tomu bylo možné pozorovat strukturu svaru, TOO a samotného svaru. Pozorování a focení vzorků proběhlo na metalografickém mikroskopu Zeiss. Účelem bylo zjistit, zda byl svar správně provařený a nejsou v něm žádné vady, které by mohly ovlivnit výsledky experimentu.

Parametry zapékacího procesu			
Název metody	Teplota	Tlak (bar)	Doba (min)
MultiFast Black	180 C	250	3
Parametry brusného procesu			
Číslo operace	Brusný kotouč	Emulze/suspenze	Doba (min)
1.	Primo 220	Voda	4:00
2.	Largo	Diap.All/Lar	4:30
3.	Mol	DiaP.Mol	4:30
4.	Nap	DiaP.Nap-B	3:00
5.	Nap	OP-U	2:00

Tab. 4: Brusné a zapékací parametry



Obr. 15: Svarový spoj: 1- základní materiál, 2 - TOO, 3 - svar

6.5 Povrchové úpravy

Pro experiment bylo vybráno 5 povrchových úprav. Z nich tři používaly jako ochranný kov nikl. Pro čtvrtou metodu bylo použito elektrochemické zinkování. Pro poslední úpravu byl použit chrom ve formě ochranného filmu. Hlavním kritériem výběru metod byla jejich dostupnost a používanost. Jednotlivé metody se pak také značně rozlišují v časové náročnosti na výrobu.

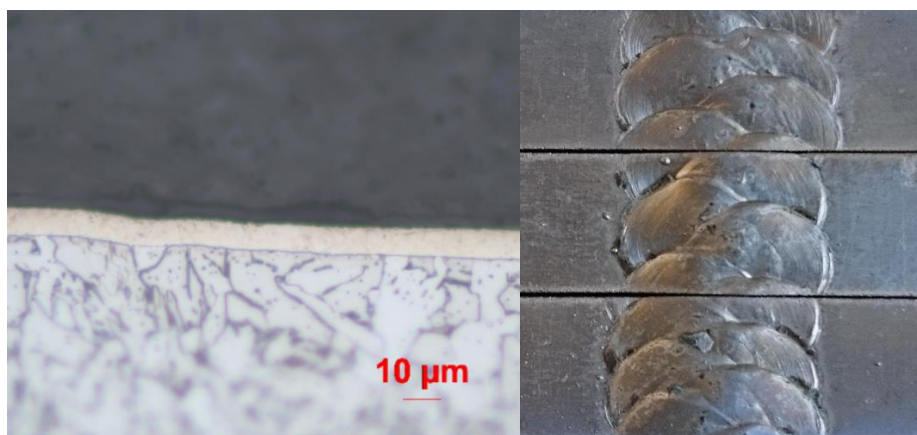
- elektrochemické niklování
- chemické niklování
- chemické niklování s následnou tepelnou úpravou
- elektrochemické zinkování
- pasivace pomocí CrO_3

Elektrochemické niklování

V této metodě bylo niklování provedeno pomocí elektrochemického pokovení (galvanické pokovení). Sestava experimentu se skládala z následujících komponentů: Niklový plech (100x50x2mm), který sloužil jako anoda, pokovovaný vzorek – katoda, zdroj stejnosměrného napětí, elektrolyt, spojovací dráty, teploměr, kádinka (1000 ml), ohřívač. Nejdříve byly Síran uhelnatý a Chlorid uhelnatý rozmíchány s demineralizovanou vodou v určeném poměru. Daný roztok byl postaven na ohřívač a zahříván na požadovanou teplotu (z důvodu dobrého vedení proudu). Ta byla hlídána pomocí skleněného teploměru. Po nahřátí teploty elektrolytu na minimální požadovanou teplotu, byl ohřívač vypnut a do soustavy byl puštěn proud. Tím začal vlastní proces niklování, který trval 60 minut. Díky proudovému odporu si niklovací roztok udržoval teplotu. Napětí i proud byly celou dobu konstantní. Na konci procesu byl zdroj vypnut a vzorek vyndán, opláchnut pod demineralizovanou vodou a usušen. Tento postup byl zopakován na dalších třech vzorcích. Ze čtyř hotových vzorků byl jeden vybrán, aby u něho byla provedena kontrola tloušťky ochranné vrstvy. Její velikost byla určena pomocí metalografického mikroskopu na 10 μm.

Parametry procesu	
Doba	60 min na 1 vzorek
Napětí	2 V
Proud	3 A
pH lázně	3.8 – 4.5
Teplota lázně	50 – 55 °C
Složení lázně (na 500ml)	Síran uhelnatý (150 g), Chlorid uhelnatý (25 g)

Tab. 5: Parametry elektrochemického niklování



Obr. 16, 17: vrstva niklu po elektrochemickém pokovení

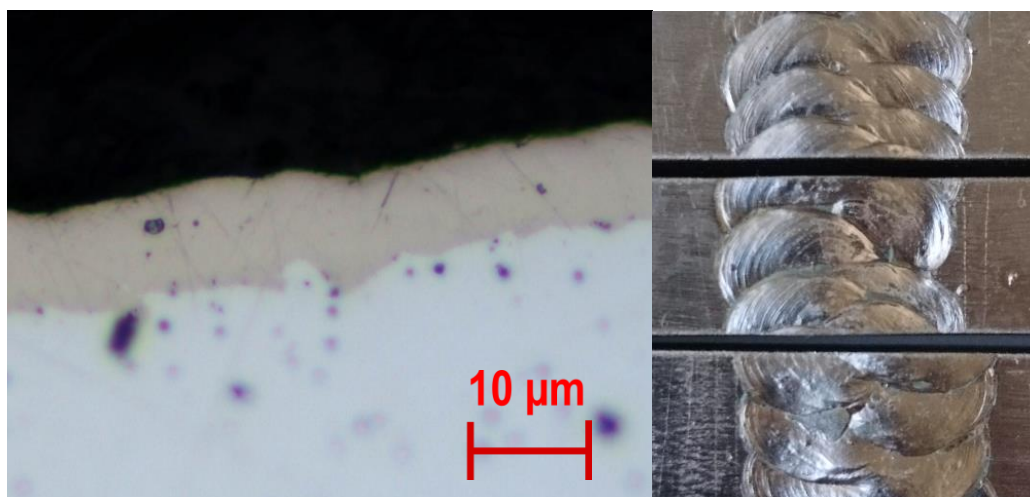
Chemické niklování

Ve druhém případě bylo použito nanesení vrstvy Ni3P pomocí metody chemického pokovení. „Ni3P vrstvy se vylučují autokatalicky z vodních roztoků podle reakční rovnice: $\text{Ni}^{2+} + 3\text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{H}_2\text{O} - \text{Ni} + 3\text{H}_2\text{PO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2$ “.[39] Odolnost autokatalicky vyloučených Ni3P vrstev se od elektrochemicky vyloučeného niklu výrazně pozitivně liší vlastnostmi jako

například: vzhled, odolnost proti chemikáliím a korozní odolnost. Dalším důležitým faktorem je tloušťka vrstvy. S ní souvisí počet otevřených pórů. Ty se zcela uzavírají při tloušťce nad 30 μm . Sestava se v tomto případě skládala z niklovací lázně, ohříváče, kádinky (1000 ml) a samotných vzorků. Niklovací lázeň byla namíchána v určeném poměru a následně ohřáta na teplotu 82 $^{\circ}\text{C}$. Následně byl zdroj proudu vypnut a jednotlivé vzorky byly rozmístěny po kádince tak, aby se nedotýkaly. Samotný proces probíhal po dobu 1 hodiny. Během této doby se kov vylučoval z roztoku povlakového kovu působením redukčního činidla obsaženého v lázni na povrchy vzorků. Teplota lázně se v průběhu procesu zvýšila na 88 $^{\circ}\text{C}$. Díky možnosti pokovení více vzorků najednou, byla tato metoda časově výhodnější, než metoda Elektrochemická. Výsledná tloušťka niklové vrstvy byla okolo 10 μm . To odpovídá hodnocení nízké korozní odolnosti. [29]

Parametry procesu	
Doba	60 min na 4 vzorky
Napětí	2 V
Proud	3 A
pH lázně	4.7-5.1
Teplota lázně	82-88 $^{\circ}\text{C}$
Složení lázně (500 ml)	Elnic 101 RP-1 (100 ml), Elnic 101-RP3 (33 ml)

Tab. 6: Parametry chemického niklování



Obr 18, 19: vrstva Ni3P po chemickém pokovení

Chemické poniklování s tepelnou úpravou

První fáze postupu je shodná s metodou niklování chemickým způsobem, po dokončení nanesení povlaku Ni3P následovala druhá fáze - tepelná úprava. Pro tuto fázi byla přehřátá pec na teplotu 350 °C. Vzorky byly vloženy dovnitř. Zde byly vystaveny teplotě 350 °C po dobu 2 hodin. Poté byly vzorky vyndány a zchlazeny na vzduchu. Tepelnou úpravou došlo ke změně mikrostruktury, změně rozložení fosforu a snížení poretity povrchu. Její velikost byla určena pomocí metalografického mikroskopu na 10 μm. [29]

Parametry procesu	
Elektrochemické poniklování	
Doba	60 min na 4 vzorky
Napětí	2 V
Proud	3 A
pH lázně	3.8-4.5
Teplota lázně	50 – 55 °C
Složení lázně (500 ml)	Elnic 101 RP-1 (100mL), Elnic 101-RP3 (33mL)
Tepelná úprava	
Teplota	350 °C
doba	2 hod

Tab. 7: Parametry chemického niklování s tepelnou úpravou



Obr. 20, 21: povrchová úprava pomocí chemického niklování a tepelné úpravy

Elektrochemické zinkování

Proces galvanického zinkování v principu funguje stejně jako u elektrochemického niklování. Sestava se skládala z anody (zinkový plech), katody (vzorky), zdroj, ohřívač, kádinka, teploměr, dráty, zinkovací elektrolyt. Rozdíl tak byl především v použité anodě a elektrolytického roztoku. Po nahřátí lázně byla sestava vodivě spojena a byl zapnut zdroj elektrického pole. Parametry na zdroji se lišily, dále se lišila doba, po kterou byl vzorek procesu vystaven. U procesu bylo důležité hlídání správného pH roztoku, které se mělo tendenci

zvyšovat. V polovině procesu byl doplněna látka Zinkogal BX/B1 (10 ml) k udržení pH mezi určenými hodnotami. Její velikost byla určena pomocí metalografického mikroskopu na 5 μm .

Parametry procesu	
Doba	10 min na 1 vzorek
Napětí	2.4 V
Proud	1 A
pH lázně	4.7-5.1
Teplota lázně	20-35 °C
Složení lázně (500 mL)	Zinkogal 157 (75g), Zinkogal Bx/A1 (10ml), Zinkogal BX/B1(25ml)

Tab. 8: Parametry elektrochemického zinkování



Obr. 22: zinková ochranná vrstva

Použití inhibitoru CrO₃

Tato metoda spočívala v nanesení tenkého ochranného filmu pomocí roztoku oxidu chromového, který zde slouží jako korozní inhibitor. CrO₃ je karcinogenní oxid, který se vyskytuje ve formě červených šupin. Pro tuto metodu byl dodržen následující postup: Oxid Chromitý byl smíchán s demineralizovanou vodou v daném poměru. Vzorek byl vložen do tohoto roztoku a byl mu vystaven po dobu 10 minut. Poté byl vzorek vyndán a usušen pomocí horkého vzduchu. Na vzorku byl pozorován červený filtr. [27]

Parametry procesu	
Doba	10 min na 4 vzorky
Složení sloučeniny (500 ml)	Oxid Chromový (25 g)

Tab. 9: Parametry nanesení inhibitoru CrO₃



Obr. 23: povrch vzorků s filmem CrO₃

6.6 Srovnání povrchových úprav – část 1

Celkově bylo provedeno 5 povrchových úprav. Od nejjednodušší – nanesení inhibitoru CrO₃, přes chemické a elektrochemické způsoby pokovení, až po metodu s tepelnou finální úpravou. Prvním parametrem, který byl u experimentu pozorován, byla časová náročnost jednotlivých metod. Pro nanesení ochranného filmu CrO₃ stačila doba 10 minut na všechny čtyři vzorky. Oproti tomu stála metoda elektrochemického pokovení, ta byla dělána pro každý vzorek zvlášť, a proto je potřeba výsledný čas 60 minut vynásobit počtem vzorků. Dále pak příprava nutná k této metodě zabrala více času. U metody chemického niklování doba pokovení byla rovna 60 minut pro všechny vzorky, rovněž zde platí, že stejně jako u metody elektrochemické, i zde zabrala příprava nezanedbatelný čas. U metody chemického niklování s tepelnou úpravou je pak nutné přičíst čas na přípravu pece, času, který stráví vzorky ohřevem v peci a následným chladnutím. Z hlediska časové náročnosti tak vychází jako nejvýhodnější ochrana pasivací CrO₃, následována chemickým niklováním, elektrochemickým zinkováním a chemickým niklováním s tepelnou úpravou, jako nejhorší vyšla metoda elektrochemickým niklováním.



Obr. 24: povrchové úpravy (z leva: CrO₃, tepelná úprava, galvanické pozinkování, chemické poniklování, galvanické poniklování)

6.7 Výbrus a sledování vzorků pod mikroskopem

Ke každé povrchové úpravě byly připraveny čtyři vzorky, tři byly určeny k testování v solné komoře, čtvrtý (zkušební) pak sloužil ke kontrole povrchové vrstvy. Následuje postup přípravy a kontroly, který byl u všech pěti zkušebních vzorků použit. Vzorek byl nařezán na hranolek 10x10x10 mm. Poté byl zapečen do pryskyřice a vybroušen. Nakonec byl zakonzervován etanolem. Pro kontrolu tloušťky povrchových úprav byl použit světelný mikroskop.



Obr. 25, 26, 27: zleva: řezačka vzorků, automatická bruska, světelný mikroskop

6.8 Testování v solné komoře

Vzorky byly rozmístěny v solné komoře tak, aby měli okolo sebe dostatek prostoru pro proudění vzduchu. Test, který byl pro experiment zvolen, měl následující parametry: vlhkost prostředí – 40%, doba trvání – 24 hod, teplota – 40 °C. Poté byly vzorky vyndány a nafoceny. Bylo vyhodnoceno, že korozní napadení nebylo dostatečné, a proto byly vzorky uloženy zpátky do komory. Celý test byl spuštěn, se stejnými parametry, ještě jednou.



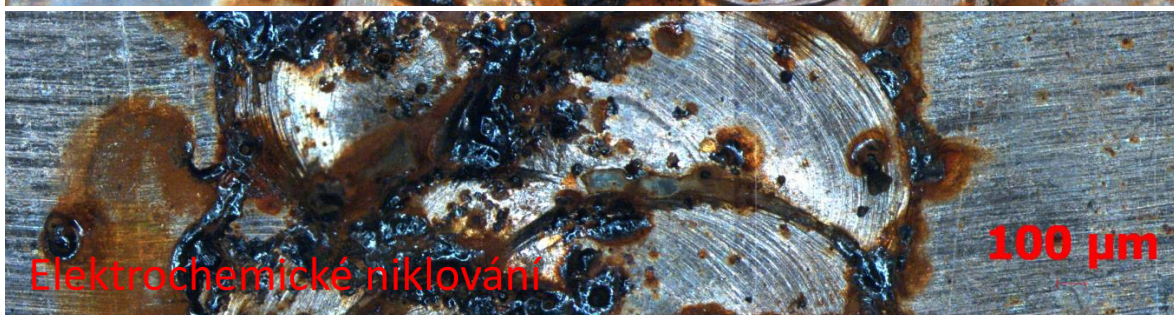
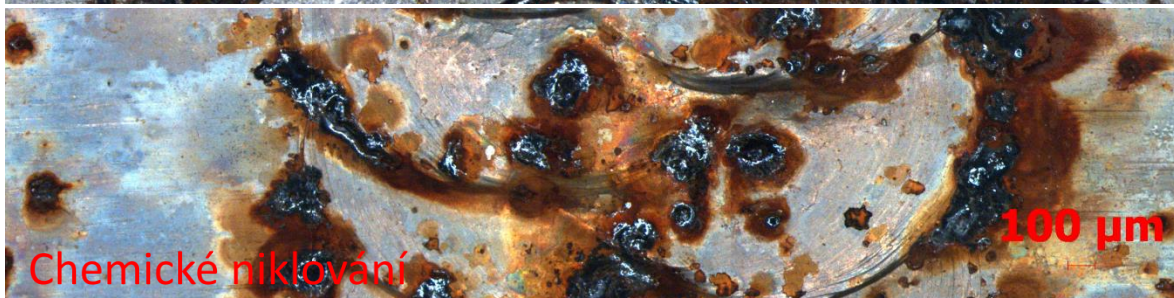
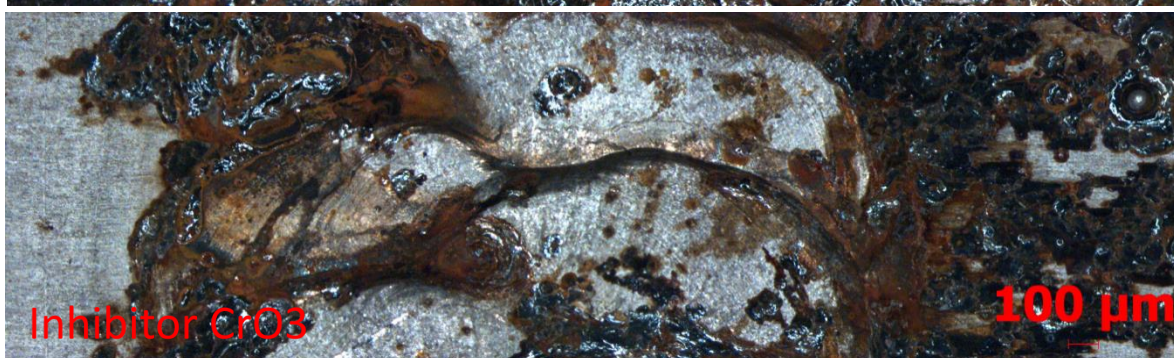
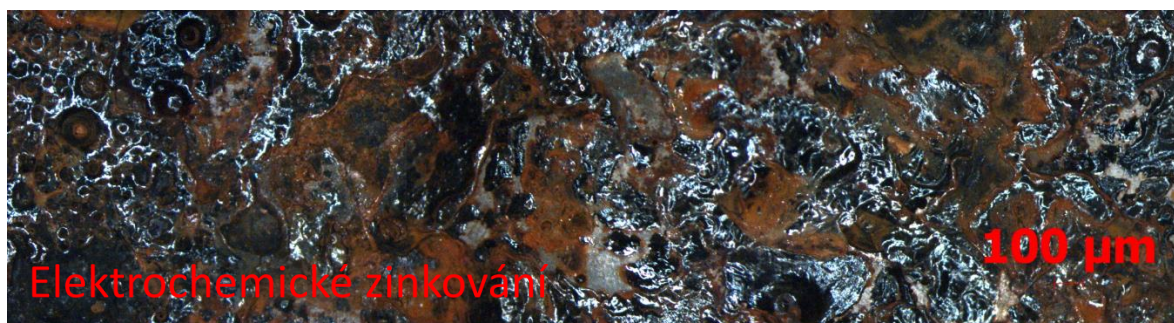
Obr. 28, 29: solná komora

6.9 Srovnání povrchových úprav – část 2



Obr. 30: zleva: vzorky 235-1 až 235-15

Pro srovnání vzorků z hlediska korozního napadení byla použita stereolupa. Díky ní byly vzorky nafoceny při nejmenším přiblížení (1x). Poté byly fotky svarů pomocí softwaru složeny do jedné, která ukazuje celý svar (Obr. 29 – 33). Korozní napadení bylo pozorováno u všech vzorků. Nejvýraznější bylo u vzorků 235-7 až 235-9, neboli u vzorků se zinkovou povrchovou vrstvou. Na těchto vzorcích byly korozní produkty tak četné, že zakrývaly celý svar. Tato metoda vyšla z testu jako nejhorší. Ačkoliv je zinková úprava hojně rozšířenou, v testu vlhkosti neobstála. Lépe dopadly vzorky číslo 235-1 až 235-6 (Elektrochemické a chemické poniklování). Zde byly korozní produkty rovněž pozorovány, avšak v daleko omezenější míře. Bylo zde pozorováno bodové napadení ve svaru a napadení v TOO. Na vzorcích 235-13 až 235-15, s inhibítorem CrO₃ byly pozorovány korozní produkty s tím rozdílem, že koroze napadla hlavně přechody mezi housenkami, také zde bylo viditelné napadení TOO. Dále byl pozorován větší napadení základního materiálu, než svarové oblasti. Nejlépe v testu obstály vzorky 235-10 až 235-12 s niklovým povrchem a tepelnou úpravou. Ohřátí vzorků s úpravou chemického pokovení se ukázalo pro korozní odolnost jako kritické a na těchto vzorcích byla pozorována koroze pouze minimální. Na povrchu těchto vzorků nebyly pozorovány žádné korozní produkty. Výsledné pořadí účinnosti povrchových úprav vyšlo následující: Chemické niklování s tepelnou úpravou, chemické niklování, elektrochemické niklování, ochrana pomocí inhibítora CrO₃, elektrochemické zinkování.



Obr. 31, 32, 33, 34, 35: Vzorok: Zn - E. (235-7), CrO3. (235-13), Ni - E. (235-1), Ni - CH. (235-5), Ni - Tep (235-11)

7. Diskuze výsledků

Pro vyhodnocení povrchových úprav byly zvoleny dva hlavní parametry. Časová náročnost na jejich výrobu byl první. Druhým parametrem bylo množství vzniklých korozních produktů po zkoušce v solné komoře. Časová náročnost může být důležitým faktorem především ve velkém objemu výrobků, kdy s ní rostou náklady na výrobu. Z hlediska časové náročnosti vyšla jako nejvýhodnější ochrana pomocí CrO_3 , následována chemickým niklováním, elektrochemickým zinkováním, chemickým niklováním s tepelnou úpravou, a jako nejhorší vyšla metoda elektrochemického niklování. Z hlediska korozní ochrany bylo pořadí následovné: Chemické niklování s tepelnou úpravou, chemické niklování, elektrochemické niklování, ochrana pomocí inhibitoru CrO_3 , elektrochemické zinkování. Při konečném pořadí byla dána přednost parametru - množství korozních produktů. U vzorků se stejným napadením, tedy u elektrochemického a chemického niklování, rozhodla o pořadí časová náročnost jednotlivých metod, která byla u chemické metody několikanásobně menší. Metoda ochrany pomocí inhibitoru se i přes časovou úsporu procesu v pořadí neposunula. Do vyhodnocování žebříčku jednotlivých ochrany by případně mohly zasáhnout další parametry, jako například potřebné vybavení (pec), nebezpečnost dané ochrany (karcinogenost CrO_3), cena jednotlivých komponentů potřebných k úpravě.

Konečné pořadí úprav zkoumaných při experimentu bylo sestaveno následovně: Chemické niklování s tepelnou úpravou, chemické niklování, elektrochemické niklování, nanesení inhibitoru CrO_3 , elektrochemické zinkování.

8. Závěr

Teoretická část se zabývala korozí a svarovými spoji. V první kapitole byl čtenář seznámen s korozí, jejím rozdělením, ochranou a formami. Byly zde představeny její ekonomické důsledky, dále pak historie vývoje protikorozní ochrany. V druhé kapitole byl popsán svarový spoj, jeho mikrostruktura a svarový postup k minimalizaci svarové koroze. Třetí kapitola se zabývala korozními zkouškami, byly zde popsány dva nejběžnější testy: Kondenzační test a zkoušení v solné mlze. V poslední teoretické části se pak čtenář dozvěděl o testech mezikrystalové koroze: Chemickém a elektrochemickém.

V rámci experimentu bylo připraveno 15 vzorků s pěti povrchovými úpravami. Cílem bylo porovnání vybraných povrchových úprav z hlediska korozní ochrany svarových spojů. Každý vzorek se skládal ze základního materiálu (S235) a svarového spoje (G3Si1). Na dané svařence byly aplikovány vybrané povrchové úpravy. K samotnému testování byla použita solná komora, kde byly vzorky vystaveny vlhkostnímu testu po dobu 48 hodin. Pozorovaným hlediskem byl vliv jednotlivých povrchových úprav na rychlost korozního napadení a časová náročnost výroby povlaku.

7. Seznam literatury

- [1] Novák, Pavel, Koroze kovů, Ústav kovových materiálů a korozního prostředí, Fakulta chemické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Koroze%20kovů.pdf?redirected>
- [2] History of Cathodic Protection. Corrosion science and engineering information hub [online]. Dostupné z: <https://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/CP-History.htm>
- [3] Jones, D.A. Principles and prevention of corrosion, Prentice Hall, New York 1996, 2nd edition, ISBN: 1292042559
- [4] Beneš, Libor, Svařování, [online]. Copyright © 2017 [cit. 06.10.2017]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
- [5] Lillie, Ralph S. (June 20, 1920). "The Recovery of Transmissivity in Passive Iron Wires as a Model of Recovery Processes in Irritable Living Systems". The Journal of General Physiology. Physiological Laboratory, Clark University, Worcester. 3 (2): 129–43. doi:10.1085/jgp.3.2.129. PMC 2140424. Retrieved 15 August 2015.91
- [6] Musil, Zdeněk, Mikrobiologická rizika v technice prostředí, Brno, 2010, Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, energetický ústav, práce dostupná na: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27569
- [7] Stress corrosion cracking (SCC). Corrosion science and engineering information hub [online]. Copyright © Copyright 2017 Kingston Technical Software [cit. 06.12.2017]. Dostupné z: <https://corrosion-doctors.org/Forms-SCC/scs.htm>
- [8] Causes and Prevention of Corrosion on Welded Joints. The Online Hub for Corrosion Professionals [online]. Copyright © 2017 Corrosionpedia Inc. [cit. 06.12.2017]. Dostupné z: <https://www.corrosionpedia.com/2/4503/corrosion-prevention/causes-and-prevention-of-corrosion-on-welded-joints>
- [9] Zkoušení povrchových úprav a ochran. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2017 www.mmspektrum.com [cit. 06.12.2017]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zkouseni-povrchovych-uprav-a-ochran.html>
- [10] Šoch, Zbyněk, Ochrana svarů proti korozní degradaci, Brno, 2006, Diplomová práce, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy
- [11] The Effect of the pH of Ammonium Nitrate Solution on the Susceptibility of Mild Steel to Stress Corrosion Cracking (SCC) and General Corrosion. scirp.org [online]. Copyright © 2010 SciRes. [cit. 06.12.2017]. Dostupné z: <http://file.scirp.org/Html/2981.html>

[12] Koroze, Střední průmyslová škola Ostrava-Vítkovice, příspěvková organizace, , [online] Copyright © 2010 SciRes. [cit. 06.12.2017] dostupné z:
https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-Povrchove_upravy.pdf

[13] Euro Inox, Korozivzdorné oceli ve styku s jinými kovovými materiály, ISBN 978-2-87997-324-1, [online] Copyright © 2010 SciRes. [cit. 06.12.2017] dostupné z:
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_CZ.pdf

[14] Centrum pro povrchové úpravy, Povrcháři [online]. 2017 [cit. 7.11.2017]. Dostupné z:
http://lib.myilibrary.com?ID=86355http://www.povrchari.cz/kestazeni/201701_povrchari.pdf

[15] Bludy, omyly a polopravdy v korozi kovů - Strojárstvo / Strojírenství. Prvý strojářský server - Strojárstvo / Strojírenství [online]. Copyright © 2019 Strojárstvo [cit. 06.02.2019]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/2204-bludy-omyly-a-polopravdy-v-korozi-kov-55>

[16] Technické plyny, průmyslové plyny - airproducts.cz [online]. Copyright © [cit. 06.02.2019]. Dostupné z: http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=cs-CZ-56

[17] NOVÁK, P. Druhy koroze kovů. Koroze a ochrana materiálu. 2005, roč. 49, čís. 4, s. 75–82. Dostupné online. ISSN 0452-599X.

[18] [online]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3600&typ=html

[19] Moření a pasivace: konečná povrchová úprava legovaných antikoročních ocelí. [online]. Dostupné z: <https://www.fksystem.cz/cz/novinky/23-moreni-a-pasivace-konecna-povrchova-uprava-legovanych-antikoroznich-oceli>

[20] [online]. Copyright ©c [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: http://www.bohler-uddeholm.cz/media/Prirucka_Avesta_moreni.pdf

[21] ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE [online]. Copyright © [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_moreni_a_lesteni_2018_kubicek.pdf

[22] Ondřej Chocholatý – testy mezikrystalové koroze (článek)

[23] [online]. Copyright © [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Inhibitory%20koroze%20kovu.pdf?redirected>

[24] Volba materiálů a konstrukční uspořádání z hlediska korozního inženýrs. Nejčtenější strojářský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit.

25.04.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/volba-materialu-a-konstrukcni-usporadani-z-hlediska-korozniho-inzenyrs.html>

[25] Home - ISSF: International Stainless Steel Forum [online]. Copyright © [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Passivating_Pickling_CZ.pdf

[26] Structural Steel - S235, S275, S355 Chemical Composition, Mechanical Properties and Common Applications. Material Science | News | Materials Engineering | News [online]. Copyright © 2000 [cit. 25.04.2019]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022>

[27] PubChem [online]. Dostupné z: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Chromium_trioxide#section=Uses

[28] Weld G3Si1 . [online]. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:5FzCkeMYx5YJ:www.okweld.cz/PDF/draty-mig-mag/nelegovane/Weld_G3Si1.pdf+&cd=5&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=opera

[29] TRIBOLÓGIA : Bezpróde (chemické) niklování. : TRIBOLÓGIA : [online]. Copyright © 2008 [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12015/bezproude-chemicke-niklovani.html>

7.1 Seznam obrázků

[1] Vibrační koroze, [online]. Dostupné z: Suzuki GSX-R 1100 [online]. Dostupné z: <http://www.gsxr.wz.cz/pic/OBR1007.gif>

[2] Bludná koroze, FYZMATIK [online]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/img/208876.jpg>

[3] Typy nerovnoměrné koroze, [online]. Copyright © [cit. 28.04.2019]. Dostupné z: https://images.slideplayer.cz/16/5251863/slides/slide_14.jpg

[4] Galvanický článek – Ochrana proti korozi, Petra Janíčková, [cit. 7. 11. 2017]. [online], převzato z: http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST31_001_003.jpg

[5] elektrodový potenciál prvků, ELUC [online]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/22207/content_stand_potencial_vs_korozivnost.png

[6] Tupý svar, [online]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQDBmOYU7-rSWHV7XmmJl3djQKHV-18zr0i7A9u5rhV9CiyFG0a>

[7] rozdělení metod svařování, [online]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/03.jpg>

[8] změny ve struktuře po svařování a graf Fe-3C, [online]. Dostupné z: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRyIwjKcjlmlgmOtp9macmymA4qrsnLyn0s725Vp-7ms1BZiuj4>

[9] konstrukce svarů, Praktické ukázky vlivu konstrukčních detailů ocelových konstrukcí na chování nátěrových povlaků – 6. část, 25. 6. 2013, [cit. 7. 11. 2017]. [online], převzato z: https://imaterialy.dumabyt.cz/files/files/ZZZ201306/Ocel_kce_natery6_01.JPG

[10] svarový spoj, Praktické ukázky vlivu konstrukčních detailů ocelových konstrukcí na chování nátěrových povlaků – 6. část, 25. 6. 2013, [cit. 7. 11. 2017]. [online], převzato z: https://imaterialy.dumabyt.cz/files/files/ZZZ201306/Ocel_kce_natery6_04.jpg

[11] použití podkladového materiálu, Časopis KONSTRUKCE - informace o uplatnění konstrukcí a návazných oborů při stavbách ve stavebnictví a strojírenství [online]. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/PublicFiles/UserFiles/images/K/2011/K511/priloha/122x122_kel_t07.jpg

[12] mikrostruktura oceli S235

[13] mikrostruktura materiálu G3Si1

[14] geometrie svaru a postup svařování

[15] svarový spoj

[16] vrstva niklu po elektrochemickém pokovení

[17] vrstva niklu po elektrochemickém pokovení (v řezu)

[18] vrstva niklu po chemickém pokovení

[19] vrstva niklu po chemickém pokovení (v řezu)

[20, 21] vrstva niklu po elektrochemickém pokovení s tepelnou úpravou

[22] vrstva zinku po elektrochemickém pokovení

[23] vzorek s filmem CrO₃

[24] povrchové úpravy

[25, 26, 27] řezačka vzorků, automatická bruska, světelný mikroskop

[28, 29] solná komora

[30] vzorky po zkoušce

[31, 32, 33, 34, 35] vzorky po zkoušce

7.2 Seznam tabulek

- [1] vzorky
- [2] Chemické složení S235
- [3] Parametry svařování
- [4] Brusné a zapékací parametry
- [5] Parametry elektrochemického niklování
- [6] Parametry chemického niklování
- [7] Parametry chemického niklování s tepelnou úpravou
- [8] Parametry elektrochemického zinkování
- [9] Parametry nanesení CrO₃