



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# MOŽNÉ CHYBY NÁVRHU A PROVEDENÍ SVARŮ PRO NÁSLEDNOU CHEMICKOU ÚPRAVU MOŘENÍM

POSSIBLE DESIGN AND PERFORMANCE MISTAKES OF WELDS FOR RESULTING CHEMICAL  
TREATMENT BY PICKLING

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Hendrych

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marian Sigmund, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Marek Hendrych</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Marian Sigmund, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

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

## **Možné chyby návrhu a provedení svarů pro následnou chemickou úpravu moření**

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

Moření je samostatnou kapitolou v oblasti povrchových úprav (i svarů) jak v oblasti svařování, tak v oblasti chemických povrchových úprav. Daná problematika není příliš popsána, hlavně z důvodů přesného určení podmínek a požadavků na návrh (design) svařenců a vlastního provedení svarů od jednotlivých výrobců (i výrobních sektorů) a taktéž požadavků dodavatelů moření. V rámci této diplomové práce by mohlo být toto řešeno, jako konkrétně druhy svarů, úplnost průvarů, okuje, svarem uzavřené prostory, porézní svary, natavený materiál, struska nebo mastnota ve svaru atd. Výstupem praktické části by měla být příručka pro konstruktéry a technology (dodavatelů firem), která bude vše popisovat.

### **Cíle diplomové práce:**

Rozbor zadání a dané problematiky.

Vypracovat literární rešerši o daných materiálech a technologiích svařování a chemického moření.

Popsat celý technologický postup moření vhodných svařenců.

Na dodaných vzorcích provést kvalitativní vyhodnocení svařenců před mořením.

Na dodaných vzorcích provést kvalitativní vyhodnocení svařenců po moření.

Výsledky návrhů i kvalitu vyhodnotil do stručného manuálu.

### **Seznam doporučené literatury:**

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

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

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

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

ŠTURC, Josef, 1985. Moření oceli. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

HENDRYCH Marek: Možné chyby návrhu a provedení svarů pro následnou chemickou úpravu mořením

---

Diplomová práce se zabývá problematikou povrchové úpravy mořením. V rešeršní části je technologie moření podrobně popsána. Další kapitoly se věnují svařovací metodě TIG a svařitelnosti austenitických korozivzdorných ocelí.

V praktické části je proveden experiment se zaměřením na porovnání váhového úbytku a kvality povrchu součásti v závislosti na době moření. Součástí závěrů práce je také vyhotovená pWPS dokumentace pro zadanou součást a stručný manuál určený zákazníkům mořírny.

Klíčová slova: Moření, pasivace, austenitická ocel, TIG, metoda 141

## **ABSTRACT**

HENDRYCH Marek: Possible design and performance mistakes of welds for resulting chemical treatment by pickling

---

The diploma thesis deals with the issue of surface treatment by pickling. In the research part the pickling technology is described in detail. The next chapters are focused on the TIG welding method and the weldability of austenitic stainless steels.

In the experimental part an experiment is carried out focusing on the comparison of weight loss and surface quality depending on the pickling time. Part of the conclusion is the implementation of pWPS documentation for the specified component and a brief manual for customers of pickling plant.

Key words: Pickling, passivation, austenitic steel, TIG, method 141

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HENDRYCH, Marek. *Možné chyby návrhu a provedení svarů pro následnou chemickou úpravu mořením* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132169>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marian Sigmund.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 19.5.2021

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Mariánu Sigmundovi, PhD., za cenné rady a připomínky při psaní diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Richardu Kalnému z firmy FK system povrchové úpravy s.r.o., a Davidu Hermanovi z firmy IN-EKO TEAM s. r. o., za jejich rady, informace a poskytnuté materiály pro praktickou část diplomové práce. Také chci poděkovat své rodině za veškerou podporu během studia.

## **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Představení firmy FK system</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 Analyzovaná součást</b> .....	<b>11</b>
<b>2 MOŘENÍ</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Vznik okují a rzi</b> .....	<b>14</b>
2.1.1 Oxidace železa .....	15
2.1.2 Oxidace legovaných ocelí .....	16
2.1.3 Kinetika a mechanismus vzniku rzi .....	16
<b>2.2 Mechanismus moření</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Parametry moření</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 Moření v kyselině chlorovodíkové</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5 Moření v kyselině sírové</b> .....	<b>22</b>
<b>2.6 Moření ve směsi kyselin</b> .....	<b>24</b>
<b>2.7 Další způsoby moření</b> .....	<b>26</b>
<b>3 SVAŘITELNOST KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1 Struktura korozivzdorných ocelí</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Austenitické oceli</b> .....	<b>32</b>
<b>4 TECHNOLOGIE TIG</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 Elektrický oblouk, typy proudů</b> .....	<b>38</b>
<b>4.2 Svařovací zdroje</b> .....	<b>40</b>
<b>4.3 Svařovací hořáky</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4 Wolframové elektrody</b> .....	<b>43</b>
<b>4.5 Ochranné plyny</b> .....	<b>46</b>
<b>4.6 Přídavné materiály</b> .....	<b>47</b>
<b>5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1 Svařování sprchovadla</b> .....	<b>49</b>
<b>5.2 Moření sprchovadla</b> .....	<b>54</b>
<b>5.3 Makrostruktura svaru</b> .....	<b>56</b>
<b>5.4 Vliv doby moření</b> .....	<b>59</b>
<b>6 ZÁVĚRY</b> .....	<b>69</b>

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

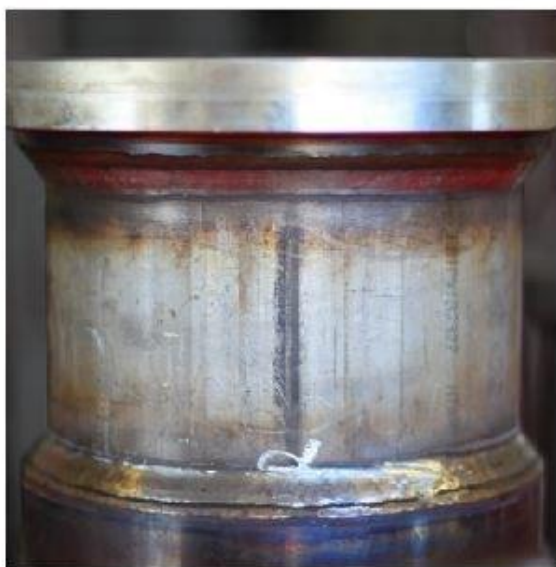
Seznam příloh

## ÚVOD [1,2,3,4]

Při kontaktu s okolní atmosférou se většina kovů pokryje vrstvou oxidů. Tento proces se nazývá oxidace a jedná se o jednu z forem chemické koroze. K tvorbě oxidické vrstvy však nedochází pouze při volném skladování oceli a jejím kontaktu s atmosférickým kyslíkem, ale také při procesech tepelného zpracování či při svařování. Při procesech zpracování oceli jsou však oxidační vrstvy, někdy též označované jako okuje, nežádoucí. Z tohoto důvodu jsou vrstvy v průběhu zpracování oceli odstraňovány. Mezi nejzákladnější a nejrozšířenější proces chemické úpravy povrchu patří moření. Při moření dochází k odstranění vzniklých vrstev oxidů či rzi pomocí kapaliny (roztok, tavenina), která chemicky nebo elektrochemicky naruší vrstvu oxidů a podpoří tak jejich odstranění.

V praxi se většina materiálů moří v anorganických kyselinách. Pro moření uhlíkových, případně nízkolegovaných ocelí se nejčastěji využívá kyselina chlorovodíková (HCl), nebo kyselina sírová (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Naopak pro vysoce legované oceli, převážně korozivzdorné se používá roztoku, který je tvořen kyselinou fluorovodíkovou (HF) a kyselinou dusičnou (HNO<sub>3</sub>). V případě neželezných kovů, jako je např. měď, jsou mořicí lázně tvořeny kyselinou sírovou, méně častěji kyselinou fosforečnou (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ta je převážně využívána k fosfátování nebo odrezování.

Důkazem toho, že moření je nedílnou součástí v procesu zpracování oceli, dokládá fakt, že přibližně 60–70 % celosvětově vyprodukované oceli, se minimálně jedenkrát v průběhu procesu výroby moří. Řečí čísel, v roce 2013 se na celém světě vyrobilo na 1582 milionů tun oceli, z nichž procesem moření prošlo cca 950–1100 milionů tun. Moření se však uplatňuje i jako operace po svařování, kdy chceme docílit kvalitního povrchu pro následnou operaci, např. lakování. Nebo se jedná o estetický požadavek, kdy následkem moření dojde k barevnému sjednocení povrchu materiálu, viz obrázek č.1.



PŘED MOŘENÍM



PO MOŘENÍ

Obr. 1 Změna struktury povrchu před a po moření [3]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [4,5]

Po svařovacím procesu se na povrchu svaru a v jeho tepelně ovlivněné oblasti, dále jen TOO, vytvoří oxidické vrstvy. Na místě svaru a TOO se tak objeví barevné pásy, označované jako náběhové barvy, typicky jde o modrou, hnědou, nebo černou. U korozivzdorných ocelí dochází v těchto vrstvách k poklesu pod minimální hodnoty obsahu chromu, tedy cca 12 hm.%, kdy je ještě ocel korozivzdorná. Z tohoto důvodu je nutné vrstvu odstranit a obnovit tak pasivační vlastnosti těchto ocelí.

### 1.1 Představení firmy FK system [4,5]

Firma FK system-povrchové úpravy, s.r.o., sídlící v Brně-Řečkovice se specializuje na problematiku povrchových úprav kovů. Ve svém portfoliu nabízí moření ocelí, jak uhlíkových, tak i korozivzdorných, dále chemické čištění hliníku a mědi, tryskání povrchu balotinou či korundem a v neposlední řadě rovněž prodej mořících přípravků v podobě gelů, past či lázní.

FK system byl založen roku 1989 panem Františkem Kalným. V průběhu devadesátých let nastal prudký rozvoj firmy. Ve firmě od roku 1993 také pracují



Obr. 2 Nová hala FK systému v Řečkovicích [5]

synové Františka Kalného, pánové Ing. Petr Kalný a Ing. Pavel Kalný. V roce 1996 firma získává výhradní právo na distribuci mořících prostředků značky Antox. V roce 2007 odchází do důchodu zakladatel firmy - František Kalný. Firma se od svého založení postupně stává jedním z předních hráčů na poli moření a pasivace legovaných antikorozičních ocelí v ČR. V červnu roku 2018 po intenzivním plánování a přípravách, firma staví svou vlastní halu v průmyslové zóně v Řečkovicích. V září roku 2019 je budova dokončena a následující rok je úspěšně zkolaudována. Za 30 let existence se tedy firma prakticky z nuly vypracovala mezi přední firmy zabývající se mořením v České republice. Firma je nadále v rukou rodiny Kalných, v současnosti zde pracuje již třetí generace, pan Ing. Richard Kalný.

Jelikož FK system nedisponuje vlastním portfoliem výrobků, které by byly určeny k moření, ale figuruje jako zprostředkovatel této operace, byl pro rozbor diplomové práce vybrán výrobek firmy IN-EKO TEAM s. r. o., která je pravidelným zákazníkem FK systému. IN-EKO se zabývá výrobou vodohospodářských zařízení z korozivzdorné oceli. Jedná se převážně o výrobky, které nachází uplatnění v čistírnách odpadních vod.



Obr. 3 Pohled na mořící vany v nové hale [5]

## 1.2 Analyzovaná součást [6,7]

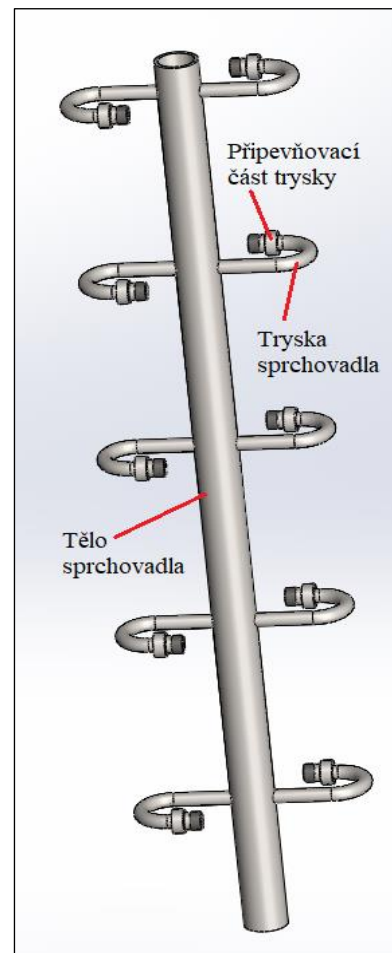
Vybraná součást je svařenec (obr. 4), jenž se skládá ze tří dílců, konkrétně těla sprchovadla, trysky a její přípevňovací části. Po vzájemném svaření trysky s přípevňovací částí se pak dále tento svařenec přivaří na tělo sprchovadla. Přípevňovací část trysky můžeme vidět v řezu na obrázku č. 5. Výkresy obou součástí a celého svařence jsou uvedeny v přílohách číslo 1,2 a 3.

Přípevňovací část trysky a tryska samotná jsou vyrobeny z oceli X2CrNiMo17-12-2 dle ČSN EN (ocel 17 349 dle ČSN nebo AISI 316 L dle ASTM), jedná se tedy o korozivzdornou ocel. Sprchovadlo je pak vyrobeno z oceli X2CrNi18-9 dle ČSN EN (ocel 17 249 dle ČSN nebo AISI 304L dle ASTM).

Svařování probíhá metodou TIG v ochranné atmosféře argonu. Ke svařenci bohužel neexistuje svařovací postup, anglicky WPS (welding procedure specification). Nejsou tedy známy svařovací parametry jako proud, napětí, svařovací rychlost nebo vnesené teplo. Součásti byly po svaření převezeny k moření do FK systému. U uvedeného svařence však došlo k problému a po mořící operaci bylo zjištěno, že u cca 50 % součástí zmizel závit M8 nacházející se na přípevňovací části trysky.

Samotné sprchovadlo je součástí zařízení, které je nazýváno jako diskový filtr (obr. 6). Filtr je určen pro filtrování velkého objemu odpadních vod s nároky na vysokou kvalitu, co se vyčištěné vody týče. Typicky je využíván v čistírnách odpadních vod, rybích farmách, potravinářském průmyslu nebo při recyklaci chladicí vody elektráren. Filtry se mohou skládat z několika disků (4, 6, 10, 16) . Každý disk je poté tvořen 12 segmenty potaženými filtrační tkaninou. Sprchovadla slouží k oplachu právě této tkaniny.

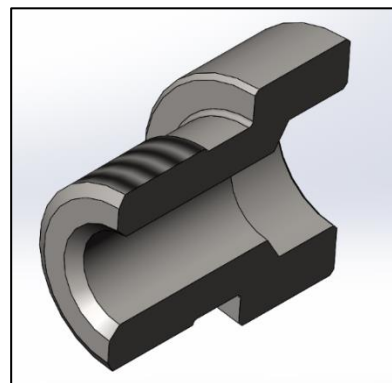
Cílem této práce bude zdokumentovat a analyzovat výrobu svařence a zjistit příčinu mizení závitu po moření, respektive úbytek materiálu. Rovněž by mělo dojít k popisu typických vad svarů (v separovaném manuálu, který by měl následně sloužit jako pomůcka pro zákazníky FK systému), které aplikaci moření komplikují a mnohdy je třeba proces od začátku opakovat.



Obr. 4 Sprchovadlo



Obr. 6 Diskový filtr



Obr. 5 Přípevňovací část trysky

Součástí podkladů obdržených z firmy IN-EKO byly rovněž atesty jednotlivých materiálů, ze kterých je svařenec složen. Přestože výchozí materiál pro výrobu trysky a přípevňovací části je stejný, tak jednotlivé materiály pochází od různých dodavatelů. V tabulce číslo 1 můžeme vidět chemické složení výchozího materiálu, který je určen k výrobě trysky. Celý atest je uveden v příloze číslo 4.

Tabulka 1 Chemické složení oceli X2CrNiMo17-12-2 (tryska) dle atestu v %

Prvek	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
Chemické složení	0,018	1,13	0,039	0,005	0,40	17,01	10,26	2,07	0,024

Norma ČSN EN 10088 stanovuje rozpětí chemického složení dle následující tabulky číslo 2. Můžeme si povšimnout, že chrom, jakožto hlavní legující prvek zabraňující korozi, se dle atestu nachází v dolní polovině normovaného rozpětí. Také fosfor, jakožto nežádoucí prvek, se v oceli nachází v množství, které se blíží limitnímu.

Tabulka 2 Chemické složení X2CrNiMo17-12-2 v % dle normy [7]

Prvek	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni	Mo
Podle ČSN EN 10088	$\leq$ 0,03	$\leq$ 1	$\leq$ 2	max. 0,045	max. 0,030	$\leq$ 0,11	16,5 - 18,5	10 - 13	2 - 2,5

V tabulce číslo 3, jsou pak uvedeny vybrané pevnostní a deformační charakteristiky oceli, které byly naměřeny v rámci tvorby atestu při teplotě 20 °C.

Tabulka 3 Mechanické vlastnosti oceli X2CrNiMo17-12-2 (tryska) dle atestu

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Tažnost $A_{50}$ [%]	Tažnost $A_{min}$ [%]	Tvrdość HRB
596	331	52	47	86

V další tabulce číslo 4, je zobrazen chemický rozbor atestu (příloha 5), tentokrát se jedná o materiál, který je určen k výrobě přípevňovací části trysky, tedy té, s problémovým závitem. Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, jedná se stále o ocel X2CrNiMo17-12-2 dle ČSN EN.

Tabulka 4 Chemické složení oceli X2CrNiMo17-12-2 (přípevňovací část) dle atestu v %

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
Chemické složení	0,023	0,34	1,23	0,037	0,02	16,97	10,09	2,06	0,0248

Lze vidět, že chemické složení se nepatrně liší, v oceli je více uhlíku, obsah chromu je dokonce pod 17 hm.%, rovněž i síra má vysoké zastoupení, pouze desetinu pod limitním množstvím. Mechanické vlastnosti pak zobrazuje tabulka číslo 5.

Tabulka 5 Mechanické vlastnosti oceli X2CrNiMo17-12-2 (přípevňovací část) dle atestu

Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Tažnost $A_{50}$ [%]	Tvrdość HB
735	550	31,6	223

## 2 MOŘENÍ [8, 9, 10, 11, 12]

Při moření dochází k odstraňování oxidických vrstev (tzv. okují), případně rzi nebo jiných nečistot, které se nacházejí na povrchu materiálu. Jak již bylo řečeno v úvodu této práce, většina vyrobené oceli se minimálně jedenkrát v průběhu výrobního cyklu moří. Mořirenský cyklus je značně složitý, jak z pohledu chemismu, tak zároveň klade vysoké požadavky na technologické vybavení podniku. Zejména v dnešní době, kdy jsou kladeny stále vyšší požadavky na ekologii a šetrnost k životnímu prostředí. Moření s sebou přináší řadu požadavků na řešení vodohospodářských problémů, čištění odpadních vod, skladování odpadních látek a v neposlední řadě také bezpečnost práce. Firma, která se tedy zaměřuje na moření je nucena řešit komplexní problémy z oborů strojírenství, chemie, ekologie a vodohospodářství. Moření patří mezi základní druhy povrchových úprav kovů, respektive chemické úpravy povrchu. Mezi další druhy, které často moření doprovází či mu předchází patří:

- **Odmašťování** – tato operace většinou předchází moření. Jedná se o odstranění různých druhů nečistot, které ulpěly na povrchu. Nečistoty jsou k povrchu vázány slaběji, než tomu je například u korozních zplodin (chemická vazba). Především se jedná o fyzikální adsorpci (látky tukového charakteru – mazací oleje, konzervační tuky) nebo adhezní síly (prach, kovové třísky). K odstraňování se používají různé typy prostředků, nejvíce alkalické roztoky (obsahují louhy, fosforečnany nebo uhličitany). Negativem alkalických roztoků je vznik odpadních vod a potřeba výhřevu lázní. Dalším typem odmašťovačů jsou organická rozpouštědla jako je benzin, petrolej a trichloretylén. Nevýhoda organických rozpouštědel je jejich dopad na lidské zdraví a hořlavost. V neposlední řadě lze k odmašťovacímu procesu použít ultrazvuk (rozkmítání čistící kapaliny), či opalování (ohřev na teplotu 300-700 °C).
- **Fosfátování** – povrchová úprava, která většinou následuje po moření. Principem metody je vytvoření souvislé povrchové vrstvy fosforečnanů, která je nerozpustná. Pro vytvoření vrstvy (obr. 7) se používají přípravky na bázi fosforečnanu zinečnatého, případně vápenatého či manganatého. Fosfátování se provádí pro zlepšení přilnavosti nátěrů, které obvykle tvoří následující operaci. Využívá se rovněž při tváření (protlačování), vrstva fosfátů zde pak vytvoří dobrý podklad pro mazadlo a snižuje se tak tření. Vrstva sama vykazuje určitou míru ochrany před korozi, její tloušťka je však pouze 0,001 až 0,04 mm a je proto vhodné přidat výše zmíněný nátěr pro úplnou ochranu. Výhodou fosfátování jsou nízké náklady a také dobrá přilnavost vrstvičky k základnímu materiálu.
- **Pasivace** – v případě moření nerezových ocelí dochází na závěr procesu k pasivaci, tedy k vytvoření ochranné vrstvy oxidů chromu. Oceli se obvykle za dostatečného přísunu kyslíku pasivují samy během několika dní (tzv. autopasivace), nicméně může být vhodné tento proces podpořit vhodnou okysličující kyselinou. Vrstva v tomto případě vzniká ihned a je několikanásobně silnější, nežli je tomu při autopasivaci. Na rozdíl od moření nedochází při pasivaci k úbytku materiálu.



Obr. 7 Typický vzhled fosfátované součásti [10]

## 2.1 Vznik okují a rzi [8, 9, 11, 12, 13,14, 15, 16, 17, 18]

Vznik okují, případně rezavění oceli má svou podstatu v termodynamické rovnováze. Většina kovů je termodynamicky nestabilní, přirozeně se tedy snaží přejít do stavu stabilního. Stabilním stavem jsou v tomto případě právě oxidy nebo sulfidy kovů. Jen málo kovů je schopno se vyskytovat v přírodě v ryzím stavu a nepodlehout korozi. Mezi tyto kovy patří zlato, platina a z části také stříbro. Naopak kovy, které byly vyrobeny redukcí prvku z rud, jako je např. železo, mají snahu se navrátit právě do stavu před výrobou. Korozi však nepodléhají pouze kovy či jejich slitiny, ale také nekovové materiály jako jsou polymery, sklo či keramika. Koroze je v technické praxi nežádoucím, ale velmi častým jevem a má za následek nemalé škody. V praxi se velmi často používá výrazu oxidace namísto koroze, nejedná se však o totožnou věc. Oxidace je totiž druhem chemické koroze. Koroze jako taková se může projevit i jinými mechanismy, než je oxidace.

Z hlediska působících faktorů (druh materiálu, podmínky prostředí) lze v závislosti na převaze jednoho z nich rozdělit korozi na jednotlivé typy. Dle mechanismu pak dělíme korozi na:

- chemickou,
- elektrochemickou.

Podle prostředí pak rozlišujeme korozi:

- koroze v atmosféře,
- koroze v plynech,
- koroze v půdě,
- koroze ve vodě.

Z pohledu moření je klíčová právě chemická koroze (její produkty moření odstraňuje), jejíž klasickým příkladem je tolikrát zmíněná oxidace. V praxi je nejvíce rozšířeným typem koroze plyny za zvýšených teplot. V případě, že je vzniklá vrstva oxidů pórovitá, dochází k jejímu odpadnutí a koroze tak postupuje do středu materiálu, než jej zcela zničí. Pokud je vrstva nepropustná, dojde k výraznému zpomalení procesu nebo dokonce úplnému zastavení. Platí, že se zvětšující se tloušťkou vrstvy oxidů dochází ke zpomalení koroze. Velmi dobře odolává korozi chrom, ten se velmi rychle pokryje téměř nepropustnou vrstvou oxidů. Vrstva má rovněž velmi dobrou přilnavost k základnímu materiálu. Právě tyto vlastnosti zapříčinily, že chrom tvoří základní prvek korozivzdorných ocelí, je totiž schopen tuto vlastnost přenést i na ocel. Platí, že sloučenina nejbohatší na kov se nachází nejbliže kovovému povrchu, a naopak sloučenina s nejmenším množstvím kovu je nejbliže plynnému rozhraní.

Vytvořené vrstvy oxidů dosahují různých tloušťek, dle tloušťky korozní vrstvy rozlišujeme tři typy vrstev:

- vrstvy tenké – okem nejsou spatřitelné, tloušťka od 1 do 40  $\mu\text{m}$ ,
- vrstvy střední – barevný náběh na povrchu, tloušťka 40 až 500  $\mu\text{m}$ ,
- vrstvy tlusté – tlustší než 500  $\mu\text{m}$ .

Pohledem kinetiky je proces tvorby oxidů na povrchu čistého kovu poměrně rychlý. Jedná se o pochod, který se uskutečňuje na fázovém rozhraní pevné látky a plynného prostředí. Významnou roli proto hraje právě rychlost přívodu plynné složky. Kvantitativně jsme schopni vyjádřit rychlost koroze změnou pozorované veličiny v čase. Touto veličinou může být například hloubka proniknutí koroze, tloušťka vrstvy oxidů nebo změna hmotnosti kovu. Základní parametr kinetiky chemické koroze je tzv. Pillingovo-Betworthovo pravidlo. Pravidlo definuje poměr mezi molárním objemem korozní zplodiny ( $V_M$ ) a atomovým objemem kovu ( $V$ ). Pokud je poměr  $V_M/V$  menší, než jedna znamená to, že se daný kov nestihne pokrýt oxidační vrstvou a plyn má tak ke kovu neustálý přístup. V případě poměru vyššího, než jedna se kov pokryje oxidační vrstvou, která může mít ochranný charakter.

Hodnoty PB čísla pro vybrané kovy vidíme v tabulce číslo 6.

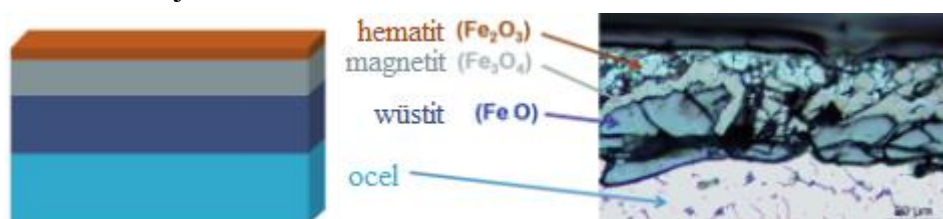
Tabulka 6 Hodnoty Pillingova-Betworthova čísla pro vybrané kovy [18]

Kov	Oxid	PB číslo	Kov	Oxid	PB číslo
Na	Na <sub>2</sub> O	0,55	Ni	NiO	1,65
Li	Li <sub>2</sub> O	0,58	Ti	TiO <sub>2</sub>	1,73
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	Fe	FeO	1,80
Cu	Cu <sub>2</sub> O	1,64	Cr	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,07

Při oxidaci na vzduchu, či při vysokoteplotních ohřevech je růst vrstvy přímkový. Naopak při počátečním stádiu tvorby nebo za nízkých teplot je růst logaritmický. Parabolický růst pak lze pozorovat u většiny kovů, při dostatečné tloušťce oxidační vrstvy a za vyšších teplot. Na rychlost koroze má velký vliv teplota, čím vyšší je, tím koroze probíhá rychleji, neboť dojde k urychlení difuze, která je řídicím dějem.

### 2.1.1 Oxidace železa [8, 9, 12, 13, 14, 19, 20, 21]

Železo při reakci s kyslíkem vytváří tři stabilní oxidy. Jedná se o wüstit (FeO), hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Tyto oxidy se liší ve váhovém poměru zastoupení železa a kyslíku a jsou zastoupeny v různém množství ve vzniklých okujích. Jednotlivé rozložení vrstev na povrchu železa zobrazuje obrázek č. 8.



Obr. 8 Vrstvy oxidů železa [19]

Wüstit je termodynamicky nestálý za teploty nižší než 570 °C. Při ochlazování z vysokých teplot se proto rozpadá na magnetit a železo. Magnetit je nestálý oxid, ale vyskytuje se v celém rozsahu teplot, kterých se dosahuje při zpracování oceli. Hematit je stálý do teploty cca 1380 °C a poté se rozpadá. Struktura FeO je zrnitá s mnoha póry, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> obsahuje ve struktuře méně pórů a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vytváří kompaktní vrstvu.

Poměr jednotlivých složek oxidů závisí na tedy na teplotě a složení oceli, tepelném zpracování, tvářecí teplotě a rychlosti ochlazování. Vlivem tvářecí a následného ochlazení může k rozdílnému složení okujů po krajích, typicky u válcovaných plechů za tepla. Podíl oxidů železa a jejich výskyt v intervalech teplot ukazuje tabulka číslo 7.

Tabulka 7 Podíl oxidů při daných teplotách [8]

Oxid	Podíl oxidů (hm.%)			
	Teplota (°C)			
	700	800	900	950
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	0,75	0,96	0,78
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	5	4,10	4,30	4,40
FeO	Zbytek			

Pro správné provedení mořící operace je důležité, aby vrstva okujů na ocelovém povrchu byla tvořena převážně wüstitem a různými vadami (bubliny, trhlinky). Při styku s mořící kyselinou se wüstit velmi rychle rozpouští. Magnetit je naproti tomu odolnější, netvoří s železem dostatečný elektrochemický článek. Poslední oxid, hematit, je téměř nerozpustný v kyselině sírové a v kyselině chlorovodíkové se rozpouští obtížně.

### 2.1.2 Oxidace legovaných ocelí [8, 17]

U legovaných ocelí dělíme vzniklé oxidické vrstvy dle složení a charakteru na dvě skupiny. Jsou to oceli, které jsou legovány prvky s nižší afinitou ke kyslíku než železo (nikl, molybden a kobalt) a oceli, jejichž legující prvky mají vyšší afinitu ke kyslíku, než má železo (křemík, mangan a chrom). Afinitou rozumíme schopnost daného prvku tvořit s jiným prvkem sloučeninu. S přítomností legujících prvků nastává i změna vlastností oxidických vrstev. Vzniklá vrstva může nabývat těchto typů složení:

- oxidační vrstva tvořena prvky legujících kovů,
- oxidy základního kovu plus tuhými roztoky oxidů základního kovu a legujících prvků,
- oxidy základního materiálu spolu s mezivrstvou oxidů legujících prvků.

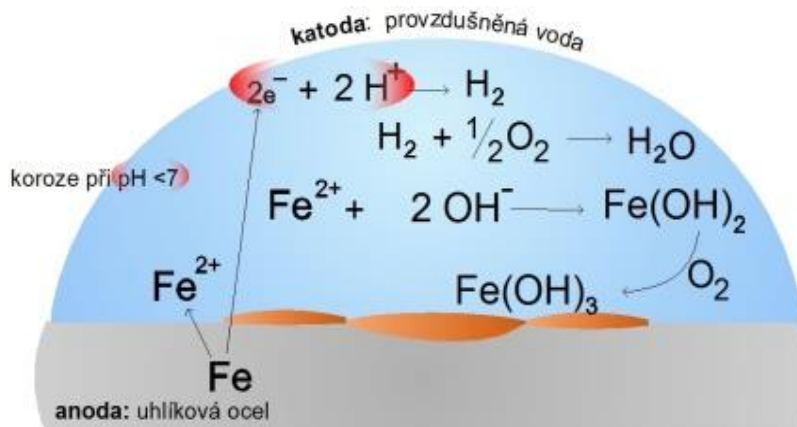
V praxi se největší pozornost věnuje slitinám železa, tedy ocelím, u kterých dochází k nejčastějšímu jevu chemické koroze, tj. korozi plynové. Nejběžnějším přísadovým prvkem je tedy pochopitelně uhlík. S jeho zvyšující se koncentrací v oceli dochází za zvýšených teplot ke zpomalení oxidace, kvůli vzniku oxidu uhelnatého (ten způsobuje vznik puchýřů v okujové vrstvě). Další prvky jako je síra, fosfor či nikl nemají v obvyklých množstvích na oxidaci významný vliv. Chrom, křemík a hliník ve struktuře oceli způsobují výrazné snížení procesu degradace. Nejvýznamnější je v tomto směru chrom, který je nejdůležitějším legujícím prvkem korozivzdorných, potažmo žáruvzdorných ocelí. Vytváří s kyslíkem vysoce ochrannou okujovou vrstvu spinelové struktury typu  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ . Tato struktura tvoří bariéru, která zabraňuje difuzi iontů železa a kyslíku. Rozhodující vliv na oxidační rychlost má totiž vrstva s nejmenší rychlostí difuze, kterou se vyznačují právě výše zmíněné prvky, zejména pak chrom.

### 2.1.3 Kinetika a mechanismus vzniku rzi [8, 9, 12, 15, 18, 22]

V praxi je velmi časté, že mořením odstraňujeme nejen okuje, ale také rez. Ta vzniká buďto při nevhodném skladování, kdy povrch nebyl nijak ošetřen protikorozní ochranou, nebo dochází ke vzniku druhotně, a to z důvodu nedostatečného oplachu a neutralizace po moření.

Proces rezavění řadíme z pohledu kinetiky a mechanismu do skupiny elektrochemické koroze. Konkrétně se jedná o atmosférickou korozi a je pro ni typické, že probíhá v tenké vrstvě. Převážná většina ztrát kovu jde na vrub právě atmosférické korozi. Pro elektrochemickou korozi je charakteristické, že probíhá ve vodivém prostředí tzv. elektrolytech a za nízkých teplot. Dochází ke vzniku galvanického článku a následnému přenosu elektrického náboje, který způsobí přeměnu kovu na ionty, viz obrázek č. 9.

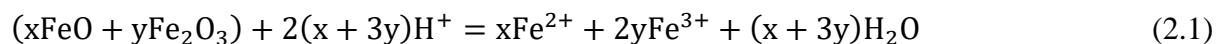
Nejdůležitější podmínkou vzniku je však vytvoření buďto vrstvičky či kapek kondenzátu elektrolytu. Toto v praxi nastává v případě, že relativní vlhkost přesáhne kritickou hodnotu. Celá problematika atmosférické koroze je velmi komplexní problém a průběh reakce závisí na mnoha faktorech, to však není předmět této práce.



Obr. 9 Koroze uhlíkaté oceli [22]

## 2.2 Mechanismus moření [1, 8, 18, 23, 24]

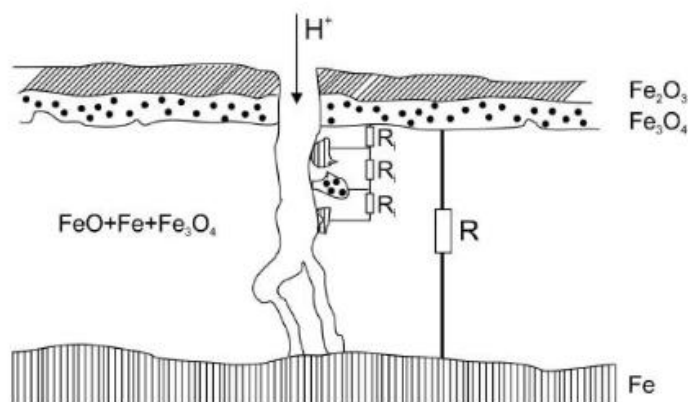
Většina materiálů, které prochází procesem moření, je mořena v anorganických kyselinách. Obecně lze popsat reakci rovnicí, která platí pro libovolnou kyselinu, jakožto i pro libovolnou směs okují. Rovnice má následující tvar:



Kde  $x$  a  $y$  mohou nabývat libovolných kladných hodnot včetně nuly. V předchozí kapitole byl vysvětlen mechanismus a vznik okují. Je patrné, že okuje jsou složeny z několika vrstev, přičemž tyto vrstvy na sebe plynule navazují, není zde žádné ostré rozhraní. Stejně tak po mechanické a chemické stránce nejsou vrstvy homogenní, rovněž se zde hojně vyskytují různé praskliny, bubliny či póry. V důsledku toho při moření probíhá několik chemických reakcí na různých místech, dle jednotlivé přístupnosti oxidů. Reakce jsou buďto chemického, nebo elektrochemického rázu. Při moření disociují molekuly kyseliny na kationt  $\text{H}^+$  a základní aniont. Vodíkové kationty poté reagují s oxidickými vrstvami a postupně dochází k jejich rozpuštění. Obecně platí, že oxidy, které obsahují více kyslíku jsou hůře rozpustné. Proces rozpuštění pak lze popsat následujícími dvěma mechanismy:

- Lázeň obsahující  $\text{H}^+$  ionty rozpouští vrstvy oxidů v celé ploše a postupuje rovnoměrně rozpuštěním celých vrstev až k povrchu samotného kovu.
- Lázeň obsahující  $\text{H}^+$  ionty proniká skrz vady povrchu (štěrbiny či póry) a dojde k vytvoření elektrochemického mikročlánku mezi atomy Fe, které vznikly rozpadem wüstitu, a oxidu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dále se vytváří makročlánek mezi železnou maticí podkladu a oxidickými vrstvami.

Mimo výše zmíněných mechanismů má na rozrušování okují vliv také mechanické rozrušování tlakem vodíku, který vzniká při reakci  $\text{H}^+$  s kovem. K popsání elektrochemické reakce se používá podobnost s galvanickým článkem. Většina kovů má tendenci uvolňovat své kationty do roztoku. K definici této tendence slouží tzv. rovnovážný standartní potenciál. S ním souvisí Becketova řada napětí prvků, která uvádí jednotlivé hodnoty tohoto potenciálu. Vpravo této řady jsou umístěny kovy, které tvoří ionty velmi obtížně (ušlechtilé kovy, např. Pt, Au), hodnota potenciálu je kladná. Nalevo se pak logicky nacházejí kovy neušlechtilé, s negativní hodnotou potenciálu. Nulu v této řadě tvoří vodíková elektroda. Studie mořících procesů potvrdily, že převládajícím mechanismem je právě elektrochemická reakce. Na obrázku číslo 10 níže, můžeme vidět mechanismus vzniku mikro ( $R_i$ ) a makro článku ( $R$ ).



Obr. 10 Mechanismus vzniku mikro a makro článků [1]

Ze tří typů oxidických vrstev se elektrochemické rozpouštění projevuje u wüstitu a magnetitu. Jejich standardní potenciál je kladný, potenciál železa je naopak záporný. U hematitu se elektrochemický děj neuskutečňuje, neboť je téměř nevodivý. Chemické rozpouštění probíhá u všech třech typů, zejména pak, když dojde k uvolnění vrstvy a dojde ke ztrátě vodivostního spojení s kovem.

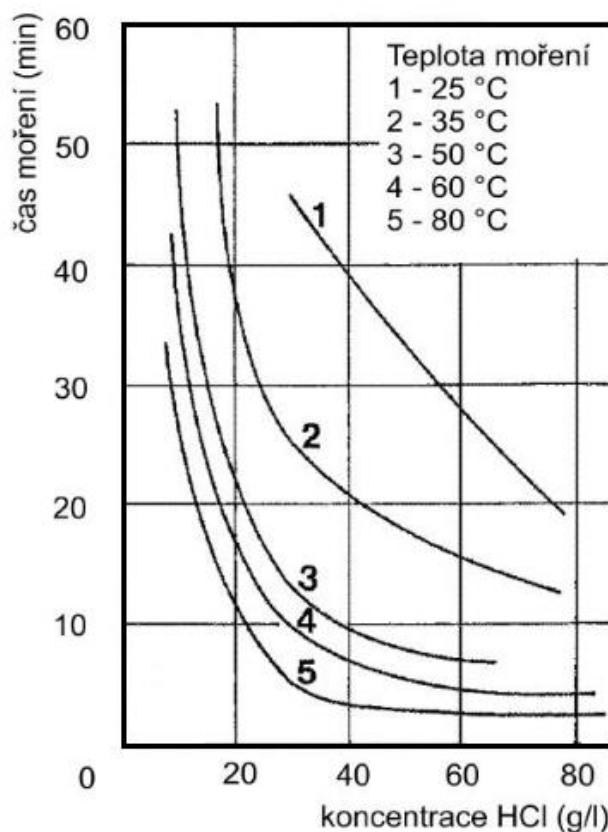
### 2.3 Parametry moření [1, 8, 9, 12, 19, 25, 26 27, 28]

Moření jako operace v sobě kombinuje řadu chemických, fyzikálních a elektrochemických dějů. Nejedná se tedy o jednoduchou homogenní reakci, ale o soubor vzájemně provázaných dějů. Mezi základní technologické parametry moření řadíme teplotu lázně, koncentraci kyselin a dobu moření. Dalšími, ne tolik typickými parametry, jsou hydrodynamické podmínky, složení okují a materiálu, použité inhibitory nebo obsah kyslíku či oxidačních činidel v použité kyselině.

Teplota – účinnost kyselin roste se zvyšující se teplotou. Zvýšením teploty mořící kyseliny se celý proces proto výrazně urychluje. Je však třeba brát v potaz, že toto urychlení sebou nese i negativní následky v podobě úbytku materiálu nebo odpařování kyselin. V praxi je potřeba najít zlatou střední cestu mezi uvedenými plusy a mínusy zvýšení teploty. Udává se, že zvýšením teploty lázně o 10 °C se rychlost moření zdvojnásobí až ztrojnásobí. Vliv teploty na mořící dobu zobrazuje obrázek číslo 11.

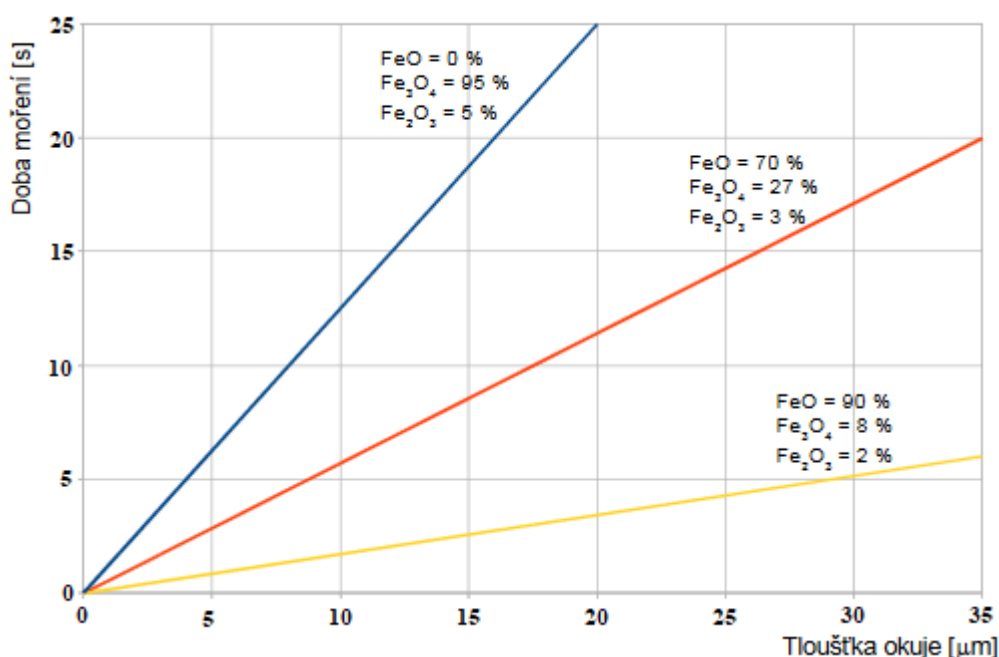
Koncentrace – jakožto i druh použité kyseliny má vliv na rychlost moření a kvalitu povrchu. V současnosti většina moderních mořičen upouští od používání kyseliny sírové a používá kyselinu chlorovodíkovou (též solnou) pro nelegované oceli. Kyselina chlorovodíková moří při stejné koncentraci mnohem rychleji, navíc rozpouští i vyšší oxidy. Kyselina sírová v podstatě není schopna rozpustit hematit. Díky tomu pak vznikají tzv. okujové kaly, k čemuž při použití kyseliny chlorovodíkové nedojde. Nevýhodou použití kyseliny chlorovodíkové je vyšší korozní napadání mořičenského zařízení a zvýšený obsah chloridů v odpadních vodách.

Obsah kyslíku a oxidačních činidel – experimenty prokázaly, že s přítomností kyslíku se výrazně zvyšuje rozpustnost oceli. Kromě kyslíku působí oxidačně i sloučeniny, které jsou do procesu moření záměrně přidávány. Mezi ně patří například chroman draselný, chlorid železitý nebo peroxid vodíku. Během moření musí být oxidační činidla doplňována, neboť dochází k jejich spotřebovávání v průběhu reakce.



Obr. 11 Závislost doby moření na teplotě a koncentraci [1]

Složení okuje – chemické složení okují, jejich tloušťka nebo pórovitost mají nezanedbatelný vliv na pochod moření. Jak již bylo zmíněno, nejméně odolný je oxid s nejmenším mocenstvím kovu, tedy wüstit. Odolnost oxidů vůči kyselinám roste s mocenstvím kovu. Ideální pro moření tedy je, pokud jsou okuje složeny převážně z wüstitu, případně menšího množství magnetitu a minima hematitu. Urychlení moření lze dosáhnout také úpravou povrchu okují, aby vznikla pórovitá sktruktura a kyselina tak mohla snadněji proniknout až k základnímu kovu. V praxi se proto může před samotným mořením provádět například tryskání povrchu, či lámání vrstev ve válcovacích stanicích. Dobu moření v závislosti na složení okují a tloušťce zobrazuje obrázek číslo 12.

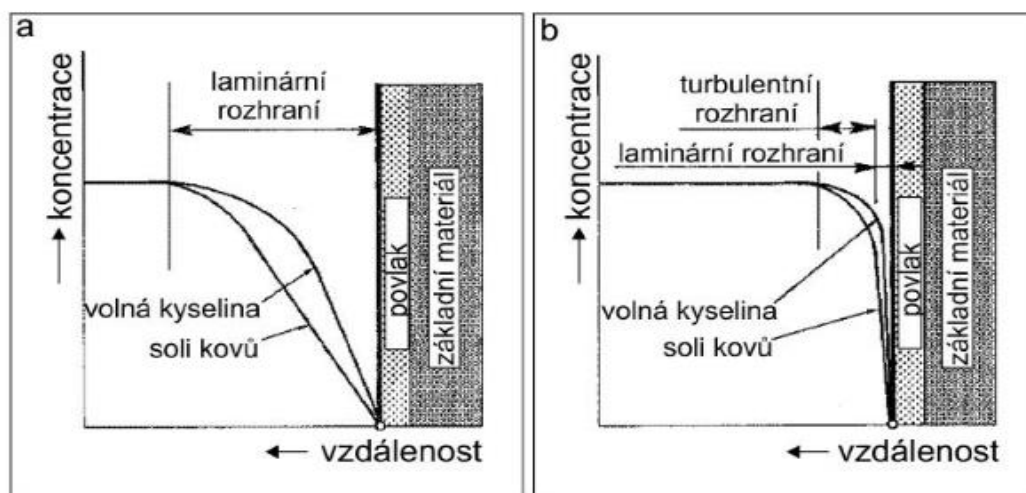


Obr. 12 Doba moření v závislosti na složení okuje [1]

Složení oceli – čisté železo je špatně rozpustné, avšak u ocelí se rozpustnost zvyšuje spolu s rostoucím obsahem uhlíku. U vysokouhlíkových ocelí pak snadno dochází k přemoření. Další prvky, které se typicky vyskytují v ocelích, jako je mangan, síra a fosfor rovněž zvyšují rozpustnost oceli v kyselinách. Naopak z prvků, které rozpuštění blokují je typická měď. Při legování oceli mědí v rozsahu 0,1 až 0,3 % se rozpustnost v kyselinách sníží zhruba o 30 až 90 %. Dalším prvkem blokující rozpustnost ocelí je křemík. Jeho efekt se však projeví až při vyšším zastoupení, při 10 % se vytvoří slitiny Fe-Si, které jsou téměř nerozpustitelné.

Inhibitory – hlavním cílem moření je odstranění okujové či korozní vrstvy. Při procesu však dochází k rozpuštění základního kovu. To sebou přináší mnoho negativ, například vyšší spotřebu mořicího média, úbytek materiálu nebo zvýšené náklady na zpracování odpadních produktů. Může také dojít k migraci vodíku do krystalové mřížky kovu, kde se následně rekombinuje a způsobuje vnitřní napětí. Tento jev bývá označován jako vodíková křehkost. Aby bylo zabráněno tomuto negativnímu jevu, jsou do mořicích lázní přidávány tzv. inhibitory, díky kterým dochází k ochraně základního kovu a zabránění difuzi vodíku do mřížky kovu. Jedná se převážně o organické vysokomolekulární látky, které vytvoří na povrchu kovu ochrannou vrstvu. Ochranné vlastnosti závisí na typu zvoleného inhibitoru, ale také složení, teplotě či koncentraci mořicí lázně.

Pohyb mořící kapaliny – vzájemný pohyb mezi mořicím médiem a mořeným předmětem má pozitivní vliv na rychlost celého procesu. Dochází tak k vytvoření rozdílných koncentračních a transportních podmínek pro mořící kyselinu a produkty reakce na rozhraní kapalné fáze a základního kovu. Transport látek na molekulární úrovni probíhá v tzv. laminární hraniční vrstvě. Její tloušťka tedy klesá zároveň s rostoucí rychlostí proudící kapaliny. Při turbulentním proudění dochází k nahrazování přesycené kyseliny kyselinou novou a celý proces je tak urychlen. Udává se, že v proudícím médiu je pak cca o 40 až 80 % rychlejší, nežli je tomu u statického procesu. V případě provádění moření metodou postřiku, je tento efekt ještě umocněn. Podmínky na rozhraní mořícího média-základní kov zobrazuje obrázek č. 13, kde (a) zobrazuje statické moření a (b) moření v proudícím médiu.

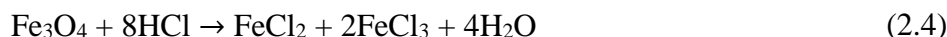


Obr. 13 Vliv proudění na koncentrační spád [1]

Technologické operace – struktura a tloušťka okují je ovlivněna tepelným zpracováním nebo tvářením za tepla a studena ve válcovnách a tažárnách. Při žíhání (normalizační, naměkko) je vrstva okují pouze dvojrvtvá, skládá se pouze z wüstitu a hematitu. Naproti tomu při tvářením za tepla, kdy se dosahuje vyšších teplot, je složení třívrstvé, tedy včetně hematitu. Z výše uvedeného vyplývá, že snáze se moří ocel po žíhání nežli po tvářením za tepla, protože neobsahuje odolný hematit. Při tvářením je podstatné, jak rychle se tvářený materiál ochladí na teplotu cca 300 °C. Při této teplotě již nedochází ke vzniku okují.

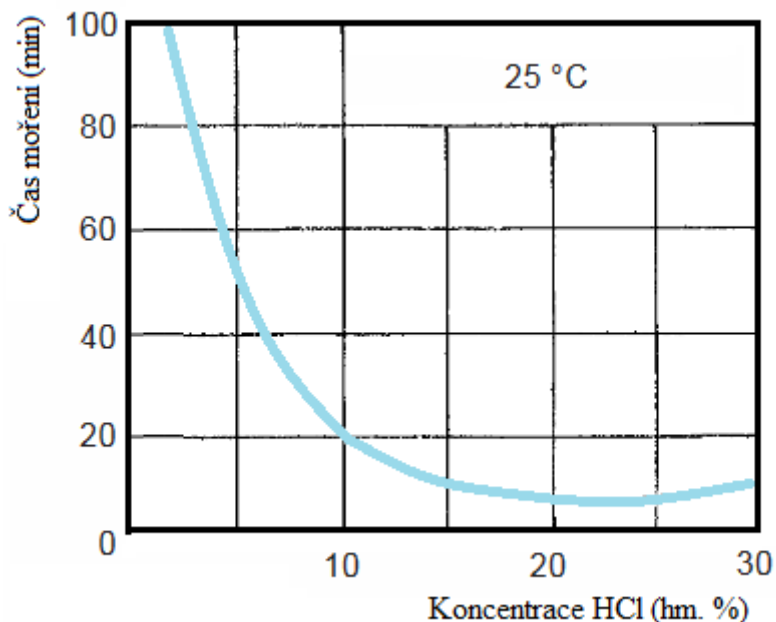
## 2.4 Moření v kyselině chlorovodíkové [1, 8, 9, 12, 29, 30, 31, 32, 33, 34]

Kyselina chlorovodíková (dříve také označována jako solná) je v současnosti nejpoužívanější kyselinou v procesu moření. Během moření probíhají následující reakce:



Princip rozpouštění je primárně tvořen přímým napadením a rozpouštěním oxidů. Dochází tak k plynulému úběru vrstev oxidů, proces je pak snáze ovladatelný. Postupné rozpouštění následně minimalizuje styk kyseliny se základním materiálem. Mechanismus, kdy kyselina proniká trhlinami až k základnímu materiálu a dochází k odloupení celé vrstvy oxidů se u kyseliny chlorovodíkové vyskytuje, nicméně není hlavním faktorem (jako u  $H_2SO_4$ ).

Oproti dříve nejhojněji využívané kyselině, kyselině sírové, má ta chlorovodíková řadu výhod. Mezi první z nich patří úspora energie spojená s ohřevem mořicí lázně. HCl totiž dosahuje stejných výsledků moření jako  $H_2SO_4$  za zvýšené teploty. Vlivem reakčního tepla dochází k ohřátí lázně na 30 až 40 °C. Obvykle stačí mořit za pokojové teploty. Platí, že při navýšení teploty lázně o 10 °C se proces zrychlí zhruba dvojnásobně. Obecně je rozpouštění okují rychlejší a rovnoměrnější, než je tomu u kyseliny sírové. Velký vliv na rychlost moření má obsah hematitu, který je vlivem mechanismu nutno rozpustit a nikoli pouze odloupnout jako u kyseliny sírové. Graf, zobrazující závislost doby moření na koncentraci při teplotě 25 °C ukazuje obrázek číslo 14.

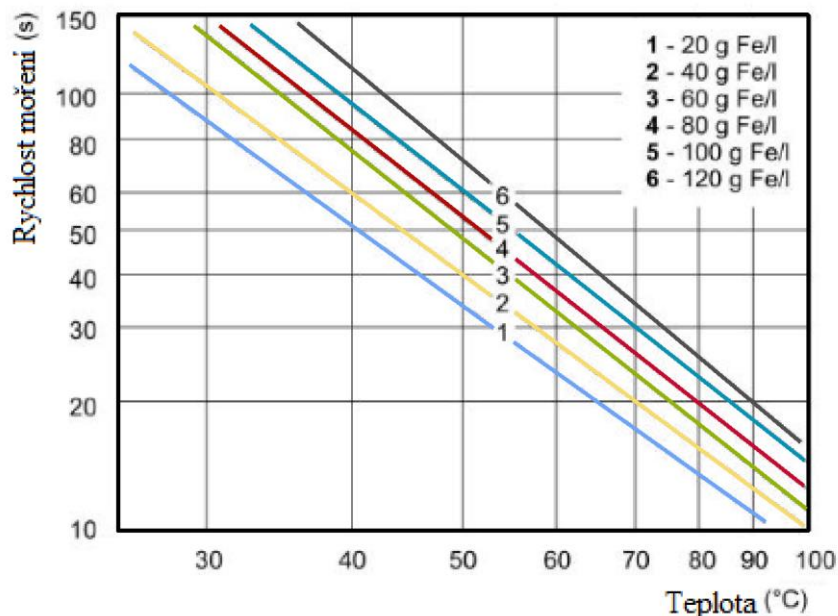


Obr. 14 Závislost času moření na koncentraci kyseliny [1]

Výhodou použití HCl je dosažení čistšího povrchu kovu. To je dáno faktem, že nedochází tak snadno k napadání základního kovu a k jeho přemoření jako je tomu u kyseliny sírové. I přes tuto skutečnost se doporučuje přidávat inhibitory na ochranu základní matrice kovu. Při moření HCl v důsledku mechanismu rozpouštění nevznikají okujové kaly, které by zpříčiňovaly postupné zpomalování reakce.

V souvislosti s výčtem výhod je potřeba také poukázat na určité nevýhody použití kyseliny chlorovodíkové. První a zásadní nevýhodou je velké množství uvolněných výparů kyseliny chlorovodíkové. Jak známo, kyselina chlorovodíková je již za pokojové teploty dýmavá a se zvyšující se teplotou je tento jev o to silnější. Výpary jsou nebezpečné, zdraví škodlivé a velmi agresivní pro lidský organismus. V důsledku toho, je potřeba mořicí linku hermetizovat a doplnit spolehlivým systémem odsávání a likvidací exhalací. Oproti kyselině sírové se kyselina chlorovodíková vyznačuje silným korozním účinkem na vybavení mořírny, což je další z nevýhod využívání této kyseliny.

S ohledem na mechanismus rozpouštění dochází také k vysoké spotřebě kyseliny. Během moření se kyselina postupně vyčerpává a v lázni se zvyšuje obsah rozpuštěného železa, to má za následek zpomalení celého procesu. Vliv množství rozpuštěného železa na rychlost moření můžeme vidět na obrázku číslo 15.



Obr. 15 Závislost doby moření na obsahu Fe a teplotě [1]

A v neposlední řadě je třeba vzít v potaz cenu kyseliny chlorovodíkové, která je mírně vyšší než cena kyseliny sírové. Technická kyselina chlorovodíková má koncentraci okolo 33 % a je lehce nažloutlá, čistá kyselina je pak bezbarvá. Pro účely moření se využívá HCl v koncentracích od 5 do 20 %.

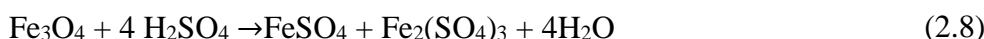
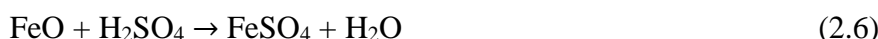
Celkově lze shrnout klíčové klady a zápory kyseliny chlorovodíkové (v porovnání s kyselinou sírovou) v následující tabulce číslo 8.

Tabulka 8 Klady a zápory použití kyseliny chlorovodíkové

Klady +	Zápory -
Není nutné vyhřívat mořící lázeň	Vznik nebezpečných par chlóru
Vyšší rychlosti moření	Silně korozní k vybavení mořírny
Dokonalejší vzhled mořeného materiálu	Vyšší spotřeba
Nevytváří se okujové kaly	Cena

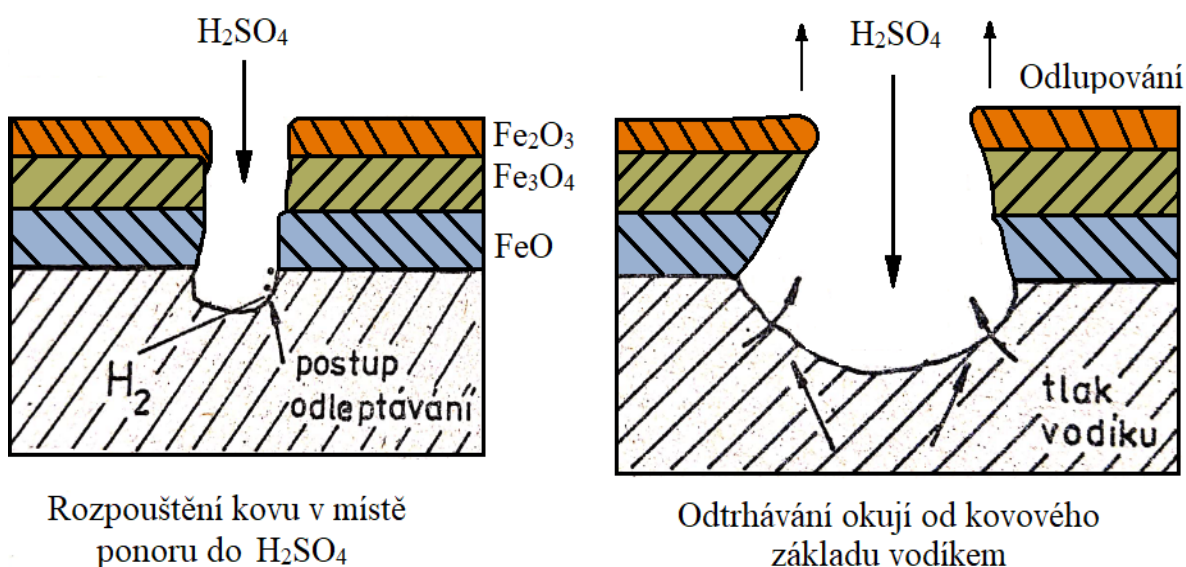
## 2.5 Moření v kyselině sírové [8, 9, 12, 29, 30, 31, 32, 34]

V minulosti nejpoužívanější kyselina, v dnešní době je však vytlačována kyselinou chlorovodíkovou, a to i z menších provozů. Při mořícím procesu se uskutečňují následující reakce:



Mechanismus odstraňování oxidů je založen na pronikání kyseliny skrz trhliny a praskliny okují až k základnímu materiálu. Následuje reakce se základním materiálem a wüstitem. Během ní dochází ke vzniku vodíku a rozpuštění wüstitu, což má za následek odloupení celé vrstvy okují (obr. 16). Dochází tak k postupnému odlupování oxidických vrstev, spíše než k jejich rozpouštění jako u kyseliny chlorovodíkové. Procesu rozpouštění lze napomoci mechanickým lámáním vrstev oxidů ohýbáním na válcovacích stolicích, dojde tak ke vzniku trhlin.

Moření v  $H_2SO_4$  bývá označováno také jako úběrové moření, neboť díky agresivitě kyseliny



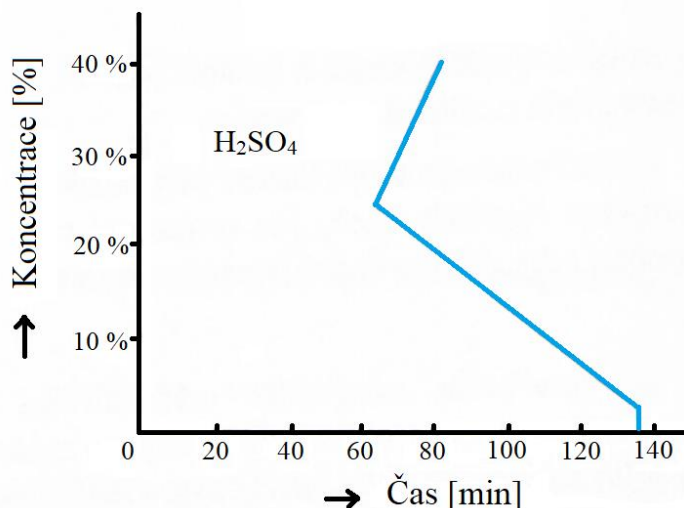
Obr. 16 Mechanismus úběru vrstev [9]

dochází k rozpouštění základní matrice kovu. Uvádí se, že při moření oceli je z  $1\text{ m}^2$  ubráno 25 až 40 g železa. Právě agresivita kyseliny vůči základnímu kovu patří mezi velké nevýhody. Další nevýhodou ve srovnání s  $HCl$  je výsledná kvalita povrchu, po konci mořicího cyklu je povrch našedlý a vlivem úběru také značně drsný. Při kontaktu vodíku s ocelí může dojít ke vzniku vodíkové křehkosti, která byla zmiňována v souvislosti s inhibitory. Inhibitory je nezbytné přidat při moření kyselinou sírovou, zabrání se, jak nežádoucímu rozpouštění základního kovu, tak vodíkové křehkosti.

Jak již bylo řečeno v kapitole věnované parametrům moření, teplota je klíčová pro celý proces. Při využití kyseliny sírové, je nutné lázeň ohřívat, aby se dosáhlo přijatelné mořicí rychlosti. Obvykle se moří při teplotách  $40\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$ . U kontinuálních linek, kde je snaha o co nejrychlejší průběh, dosahuje teplota až  $95\text{ }^\circ\text{C}$ . Je třeba podotknout, že zvyšování teploty má větší vliv na rozpouštění železa z povrchu oceli nežli zvýšení koncentrace kyseliny. Nutnost ohřevu kyseliny je považována za nevýhodu, neboť sebou přináší ekonomickou zátěž. Je však potřeba zdůraznit, že i za vysokých teplot nedochází k tvorbě škodlivých výparů. Linka proto nemusí být speciálně vybavena, jako je tomu při použití kyseliny chlorovodíkové. I přesto však linka musí být vybavena základní vzduchotechnikou pro odvod odparů.

Během procesu moření dochází k zanášení lázně zbytky odlouplých oxidických vrstev, které padají na dno a mísí se spolu s rozpouštějícími se oxidy a železem. To má za následek degradaci a snížení účinnosti kyseliny, v důsledku tedy delší dobu moření a zhoršenou kvalitu výrobku. Je tedy nutnost během moření kyselinu obnovovat či doplňovat, aby bylo dosaženo správných výsledků moření. Zhruba při koncentraci železa  $50\text{ g/l}$  nastává pokles účinku moření a koncentrace  $90\text{ g/l}$  je pak považována za limitní a lázeň je nutno zregenerovat.

Technická kyselina sírová se obvykle dodává v koncentraci 94 až 96 %. Pro mořící účely se využívá kyselina s koncentrací 8–20 %. Vliv koncentrace na dobu moření můžeme vidět na obrázku číslo 17 níže.



Obr. 17 Vliv koncentrace na dobu moření [29]

Z grafu lze vidět, že doba moření se u používaného rozpětí koncentrace pohybuje v řádech desítek minut. Nejvyšší rychlosti je dosaženo při koncentraci 25 %.

Na závěr procesu probíhá oplach součástí a odstranění zbytku síranů z jejich povrchu. Běžně je pro oplach využívána voda (teplá nebo studená) doplněná o neutralizační přísady v podobě  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  nebo  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Ztráty kyseliny způsobené oplachem činí až 25 % z celkového množství.

Přestože již není kyselina sírová využívána tolik, jako v minulosti, stále disponuje množstvím výhod. Hlavní výhody a nevýhody použití kyseliny sírové oproti kyselině chlorovodíkové ukazuje následující tabulka číslo 9.

Tabulka 9 Klady a zápory použití kyseliny sírové

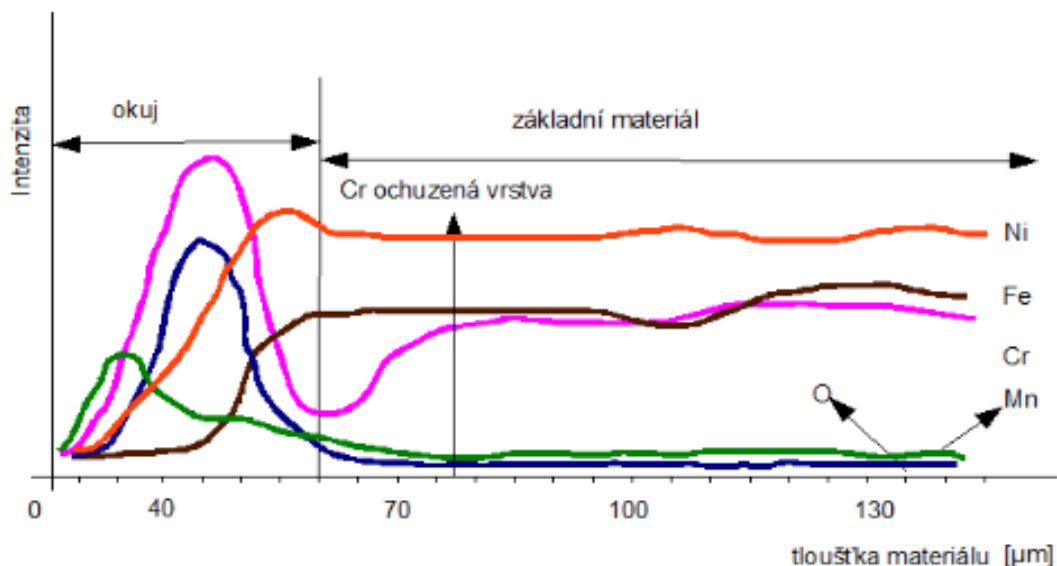
Klady +	Zápory -
Kontrola procesu prostřednictvím teploty	Vznik okujových kalů
Výpary nejsou tolik agresivní	Horší kvalita povrchu
Jednodušší likvidace odpadů	Úbytek základního materiálu
Cena	Výhřev mořících lázní

## 2.6 Moření ve směsi kyselin [8, 9, 35, 36, 37, 38, 39]

Výše zmiňované kyseliny se využívají pro moření uhlíkové oceli. V případě korozivzdorné oceli je potřeba použít směsi kyselin. V současné době se využívá v drtivé většině případů směs kyseliny dusičné a kyseliny fluorovodíkové. V menší míře je pak používáno směsi kyseliny sírové s kyselinou fluorovodíkovou a peroxidem vodíku. U korozivzdorných ocelí je složení oxidické vrstvy jiné než u uhlíkových ocelí. Ve struktuře jsou zastoupeny již zmiňované oxidy železa. Dále jsou zastoupeny oxidy železa a chromu tzv. spinely a také oxidy různých legujících prvků.

Mezi vrstvou oxidů a základním materiálem se navíc vyskytuje matrice ochuzená o chrom. Tu je potřeba rovněž odstranit, v budoucnu by mohla být zárodkem pro korozi a degradaci materiálu.

Na následujícím obrázku číslo 18 je znázorněno složení jednotlivých prvků v závislosti na hloubce v oceli X5CrNi18-10 dle ČSN EN. Za povšimnutí stojí úbytek chromu na rozhraní okujů a základního materiálu.



Obr. 18 Složení prvků v závislosti na tloušťce materiálu [36]

Moření korozi-vzdorných ocelí by se dalo popsat jako dvoufázový proces. V prvním kroku dochází k rozpouštění oxidů kovů a ochuzené matrice chromu vlivem silně oxidační kyseliny dusičné. Následkem rozpouštění je vznik dvoumocných a třímocných iontů kovu,  $\text{NO}_x$  oxidů a vody. V druhém kroku vstupuje do hry kyselina fluorovodíková s úkolem přetvořit ionty kovů na stabilní fluoridové komplexy. S rostoucí koncentrací fluoridových komplexů dochází ke snižování jejich rozpustnosti a začnou vytvářet kaly. Koncentrace kovových iontů by se měla udržovat pod 50 g/l, při překročení této hranice dojde ke snížení mořícího procesu. Stejně jako u předchozích kyselin je tedy nutné lázeň postupně obnovovat, aby proces probíhal řádně.

Pro zlepšení moření a zvýšení rychlosti procesu se před použitím samotných kyselin zařazují následující postupy:

- mechanické odkoujení (lámání, ohýbání či tryskání),
- elektrolýza v roztocích  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,
- elektrolýza v taveninách  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,
- redukční tavenina  $\text{NaH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,
- oxidační tavenina  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ .

Vyjmenované procesy způsobí chemickou nebo mechanickou změnu okuje, následný proces moření je mnohem efektivnější. Dojde ke snížení doby moření nebo můžou být použity kyseliny o nižší koncentraci a teplotě.

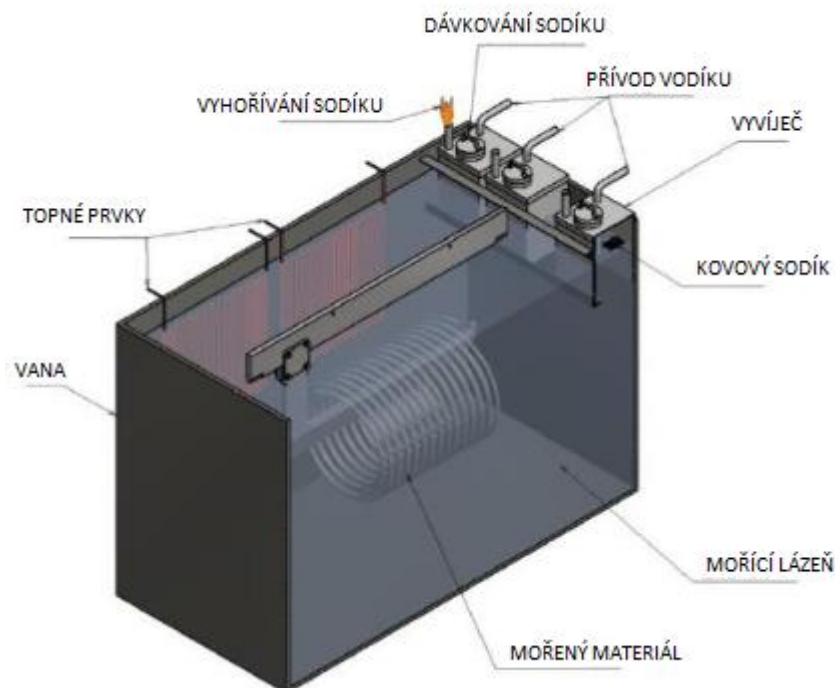
Pro austenitické oceli se využívá kyselina dusičná o v koncentračním rozpětí 14–16 % spolu s 3–5% kyselinou fluorovodíkovou. Teplota lázně se pohybuje do 50 °C, výjimečně 65 °C. Pro martenzitické a feritické se používá nižších koncentrací, konkrétně 8% kyseliny dusičné spolu s 1–3% kyseliny fluorovodíkové. Teplota lázně nepřesahuje 40 °C. V případě použití 10%  $\text{HNO}_3$  se lázeň neohřívá, ba dokonce bývá ochlazována. Jedná se o silně exotermní reakci.

## 2.7 Další způsoby moření [8, 9, 35, 39]

Kromě zmiňovaných metod moření v kyselinách se v technické praxi můžeme setkat s dalšími způsoby, které však nejsou tak časté. Prvním z nich je moření v kyselině fosforečné, druhým je redukční způsob moření (označován také jako moření v taveninách).

Moření v kyselině fosforečné – výhodou použití této kyseliny je současná pasivace oceli a odmašťovací účinek. Při moření nevznikají výpary, což klade menší nároky na zařízení firmy. Mechanismus odstraňování okuje je podobný jako u kyseliny sírové. Kyselina proniká trhlinami a póry, kde rozpouští vůstít. Jako u všech kyselin, její účinnost se s teplotou zvyšuje a zhruba nad 80 °C dochází k silně koroznímu napadení oceli. Nejčastější pracovní rozmezí je proto 60–80 °C. Obvykle používaná koncentrace je 15 %, přičemž se proces probíhá do koncentrace 7 %. Tato metoda je neefektivní a nákladná vzhledem k vysoké pořizovací ceně kyseliny fosforečné. Pro zvýšení efektivity a minimalizaci nákladů se proto využívá procesu regenerace, kdy kyselina cirkuluje mezi mořicí a regenerační lázní, kde je pomocí chemických procesů snižován podíl rozpuštěného železa.

Moření v taveninách – značná část oxidů legujících prvků je v kyselinách obtížně rozpustná nebo dokonce nerozpustná. Pro odstranění těchto oxidů je třeba použít právě moření v tavenině. Jak bylo uvedeno výše, proces předchází samotnému moření v kyselinách. Základní složkou je hydroxid sodný doplněný o redukční složku. Používá se tavenina o teplotě 350 °C s přídavkem 1,5–3% hydridu sodného (redukční složka). Hydrid sodný je produkován přímo v zařízení, a to reakcí plynného vodíku a kovového sodíku. Schéma zařízení zobrazuje obrázek číslo 19. Při procesu pak dochází k redukci oxidů na samotné kovy. Zplodiny se z povrchu materiálu odstraňují oplachem slabé kyseliny.



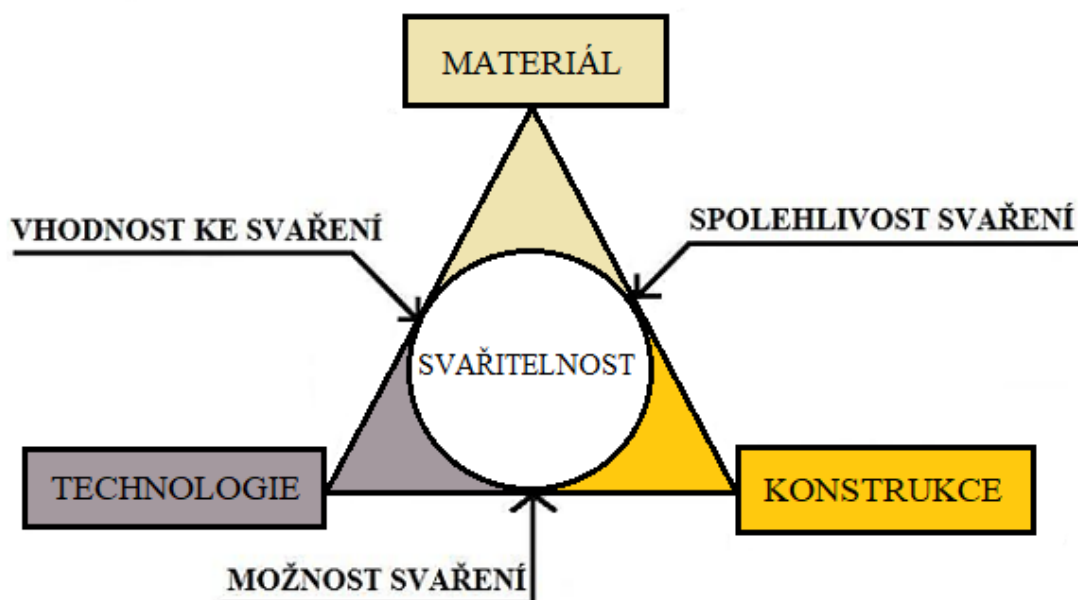
Obr. 19 Zařízení pro moření v taveninách [39]

### 3 SVAŘITELNOST KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ [18, 40, 41, 42, 43]

Pojem svařitelnost můžeme definovat jako souhrnnou charakteristiku materiálu vytvořit takový svařenec, který splňuje požadované vlastnosti a konstrukční spolehlivost při vybrané svařecí technologii. De facto se jedná o schopnost materiálu vytvořit svarový spoj, který splňuje požadavky mechanické, chemické, fyzikální a technologické, a to při výběru technologických, konstrukčních a metalurgicko-materiálových parametrů (obr. 20).

Svařitelnost se tedy skládá ze tří základních skupin, respektive faktorů:

- Technologická svařitelnost – v první řadě nám udává vliv vybrané metody svařování na kvalitu svařence (charakterizovanou tepelným příkonem). Dále do technologické svařitelnosti patří výběr přídavného materiálu, volba svařovacích parametrů (napětí, proud nebo rychlost svařování). Spadá sem rovněž tepelné zpracování, které často následuje po svařovacím procesu, typicky se jedná o žíhání ke snížení vnitřních pnutí.
- Materiálově-metalurgická svařitelnost – vyjadřuje vhodnost materiálu ke svařování z pohledu jeho chemického složení a procesu výroby. Charakterizuje rovněž změny vlastností materiálu, zejména pak v tepelně ovlivněné oblasti v důsledku působení teplotního cyklu. V případě chybného výběru základního či přídavného materiálu, může dojít ke vzniku zakalených struktur (martenzit, bainit). Vznik těchto struktur má pak za následek vznik trhlin a jejich šíření, což v kritickém případě vede k porušení svarového spoje nebo rovnou celé součásti.
- Konstrukční svařitelnost – vliv konstrukčního řešení svarového spoje na jeho vlastnosti za provozních podmínek, jako je zejména pracovní teplota a korozní prostředí. Z hlediska návrhu konstrukční svařitelnost zahrnuje volbu typu svaru, dále vhodné konfigurace svarů (počet, tloušťka nebo umístění na součásti) tak, aby bylo dosaženo optimálních vlastností, které má svařenec splňovat.



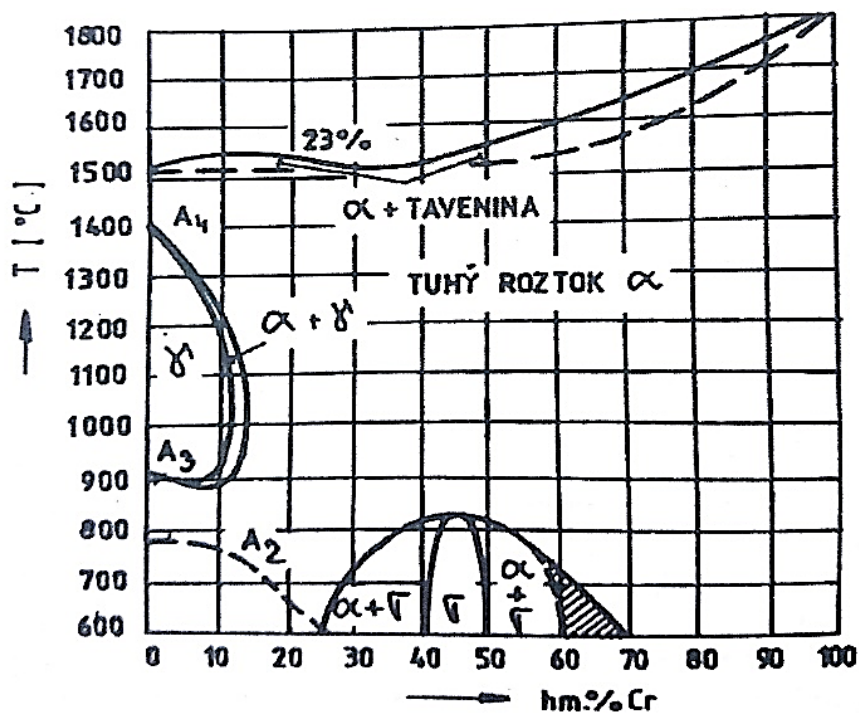
Obr. 20 Parametry svařitelnosti [43]

Korozivzdorné oceli (někdy též nerezavějící oceli), patří do skupiny vysokolegovaných ocelí. Dříve byly řazeny do třídy 17 dle ČSN normy, dnes se označují podle ČSN EN 10027-1. Do skupiny vysokolegovaných ocelí kromě korozivzdorných patří ještě:

- Žárovzdorné oceli – odolávají oxidaci nebo chemické korozi v plynech při teplotách nad 550 °C. Legovány jsou především Cr, Si nebo Al. Tyto prvky následně tvoří na povrchu ochrannou vrstvu, která odolává opalu.
- Žárupevné oceli – odolávají plastické deformaci za vyšších teplot, tzv. creepu (tečení). Typickým znakem jsou tedy vysoké hodnoty meze pevnosti při tečení. Hlavní legury zajišťující žárupevnost jsou Cr, V, Mo, W, Ti.

Stěžejním problémem této práce jsou však jen korozivzdorné oceli. Vyznačují se zvýšeným obsahem chromu ve své struktuře. Právě chrom je prvkem, díky kterému jsou oceli korozivzdorné. Aby však ocel byla schopná pasivace, tedy vytvoření ochranné vrstvičky na svém povrchu, je nutné, aby obsah chromu v tuhém roztoku byl vyšší než 11,5 %. Zde je potřeba zdůraznit, že vyšší obsah nutně neznamená korozivzdornost, neboť u ocelí, kde je obsah chromu i mnohonásobně větší se může projevit vliv okolí a dojít ke korozi oceli. Je tomu tak proto, že chrom je v těchto případech vázán v karbidech, případně jiných sloučeninách a nenachází se volně v tuhém roztoku. Dalším typickým znakem pro tuto skupinu ocelí je nízký obsah uhlíku, mimo martenzitických korozivzdorných ocelí se jeho obsah pohybuje pod úrovní 0,08 %. Nízký obsah uhlíku je nutností, jinak by uhlík snižoval obsah chromu v tuhém roztoku za vzniku karbidů. Takto ochuzená místa pak mají sníženou schopnost pasivace a dochází v nich ke vzniku koroze. V případě korozivzdorných ocelí je typická mezikrystalová koroze, a to zejména v tepelně ovlivněné zóně po svařování.

Detailní popis struktury, která závisí na chemické složení, nám nabízejí rovnovážné diagramy. Na obrázku č. 21 vidíme rovnovážný diagram soustavy Fe-Cr. Z pohledu svařitelnosti je důležitá oblast výskytu tzv. sigma fáze (jedná se o intermetalickou fázi). Ta se vylučuje v rozmezí teplot 500–820 °C. Tato fáze se vyznačuje svou křehkostí a je tedy nežádoucí v oblasti svaru.



Obr. 21 Rovnovážný diagram soustavy Fe-Cr [40]

### 3.1 Struktura korozivzdorných ocelí [18, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50]

Legující prvky v korozivzdorných ocelích je možno rozdělit na dvě základní skupiny s ohledem na to, jak ovlivňují její výslednou strukturu. Prvky tedy dělíme na:

- Austenitotvorné – v rovnovážném diagramu rozšiřují oblast gamma – C, Ni, Cu, Mn, N.
- Feritotvorné – v rovnovážném diagramu zmenšují oblast gamma – Cr, Mo, Al, Si.

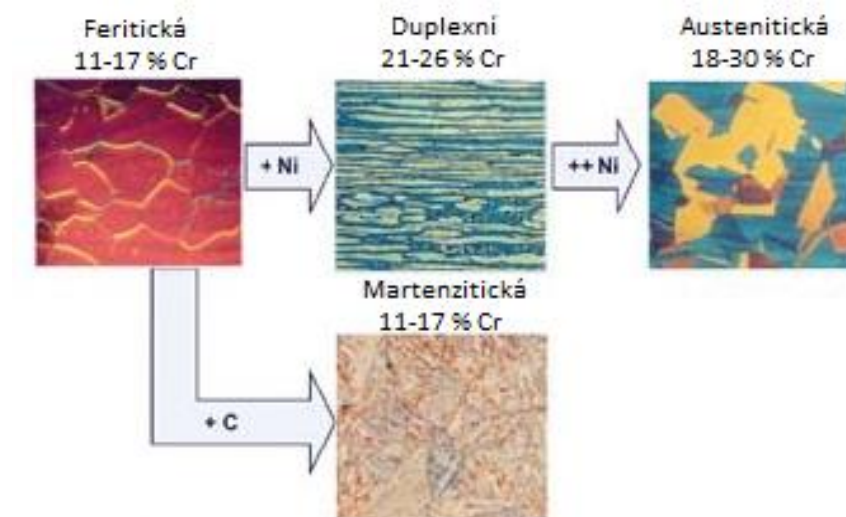
Chrom, jakožto hlavní legující prvek korozivzdorných ocelí, je feritotvorný prvek. U ocelí, kde jeho procentuální složení překročí hranici 13 % najdeme pouze feritickou strukturu. Při užití binárního diagramu, je však potřeba brát v potaz také množství uhlíku, například u ocelí, kde je obsah C 0,1 hm. % se oblast gamma rozšiřuje až k obsahu 18 hm. %. Chrom velmi ochotně tvoří karbidy, zejména pak typ  $M_{23}C_6$ , který nalezneme prakticky ve všech typech nerezových ocelí. Písmeno M v názvu představuje chrom, někdy však může být nahrazen molybdenem či železem. Oceli s obsahem chromu nižším než 12 hm. % jsou samokalitelné. Chrom snižuje kritickou rychlost ochlazování vzniku martenzitu, dochází k posunu křivek v ARA diagramu doprava.

Druhým nejvýznamnějším prvkem zajišťujícím odolnost vůči korozi je nikl. Na rozdíl od chromu však patří do skupiny austenitotvorných prvků. Přidáním dostatečného množství niklu je možné rozšířit oblast gamma (oblast austenitu) natolik, že austenit je pak stabilní při pokojové teplotě a níže. Nikl netvoří oproti chromu téměř žádné karbidy nebo intermetalické sloučeniny. Legováním niklem dosahujeme významného zvýšení houževnatosti ocelí.

Dle obsahu legujících prvků a výsledné mikrostruktury rozdělujeme korozivzdorné oceli na:

- feritické oceli,
- martenzitické oceli,
- austenitické oceli,
- austeniticko-feritické oceli, tzv. duplexní oceli.

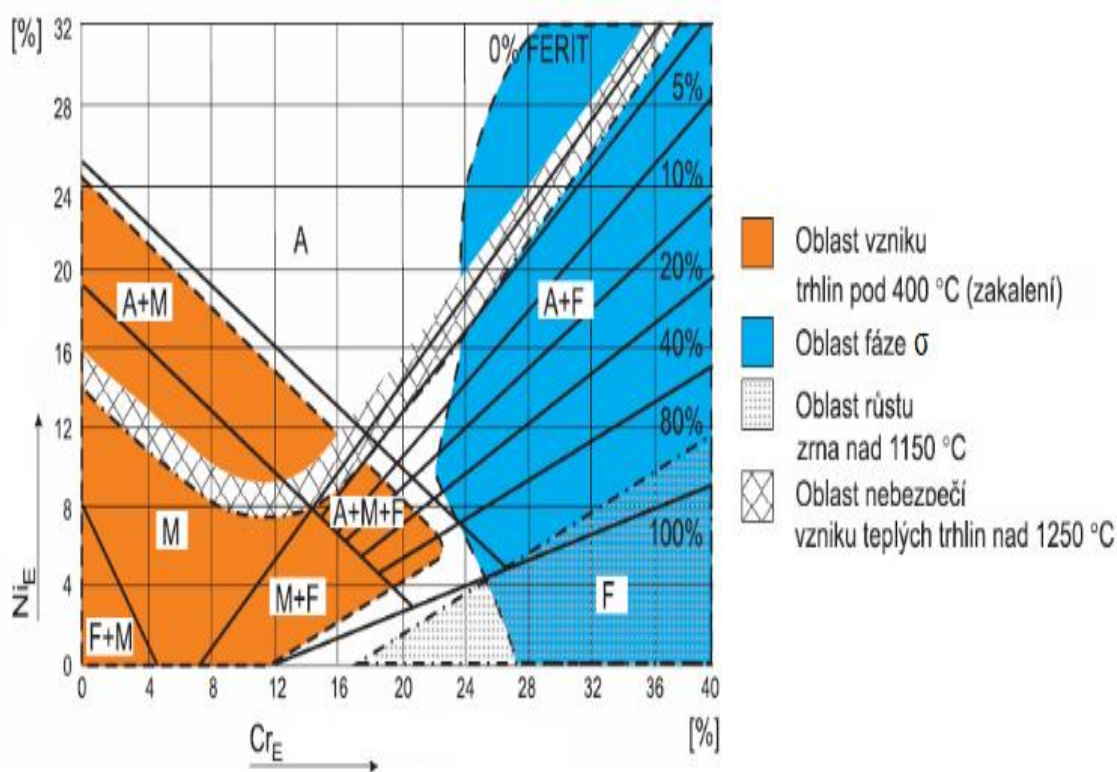
Korozivzdorné oceli obsahují 12 až 50 hm. % legujících prvků. Mají tedy vliv na rovnovážné diagramy a jak bylo řečeno, dělíme je na ty, které rozšiřují, případně stabilizují oblast buďto austenitu nebo feritu. Je třeba pamatovat na to, že martenzit je transformační produkt austenitické fáze, vznikající při ochlazení. V případě, že nedojde k tvorbě austenitu za vysokých teplot, nemůže pak být zformován martenzit. Jednotlivé mikrostruktury můžeme vidět na obrázku č. 22. Abychom mohli odhadovat strukturní složení oceli, byly k tomuto účelu vytvořeny tzv. konstituční diagramy.



Obr. 22 Typy struktur [48]

Na strukturu oceli mají největší vliv chrom a nikl. Pro použití diagramů je třeba stanovit ekvivalenty vlivu jednotlivých prvků. K tomuto účelu slouží tzv. chromový ekvivalent ( $Cr_E$ ), který vyjadřuje vliv feritotvorných prvků. Druhým ekvivalentem je pak ekvivalent niklu ( $Ni_E$ ), ten udává vliv austenitotvorných prvků na výslednou strukturu. Problémem výsledné struktury ocelí (zvláště po svařování, ve svarovém kovu) se vědci zabývají již poměrně dlouho. Počátky sahají k roku 1920, kdy pánové Strauss a Maurer představili nikl-chromový diagram, který umožňoval odhadovat strukturu svařkové, pomalu ochlazované oceli. Od té doby proběhlo mnoho výzkumů, byly vymyšleny různé diagramy a rovnice pro výpočet ekvivalentů.

V současnosti patří mezi nejpoužívanější diagramy Schaefflerův diagram. Třeba podotknout, že tento diagram byl vytvořen na konci 40. let 20. století. Diagram se uplatňuje zejména u austenitických ocelí s nízkým obsahem dusíku. Schaeffler nezahrnul dusík, který je významným austenitotvorným prvkem, do výpočtu niklového ekvivalentu. Pravděpodobně proto, že v době tvorby diagramu bylo složité odhadnout zastoupení dusíku v oceli. Diagram můžeme vidět na obrázku číslo 23 níže.



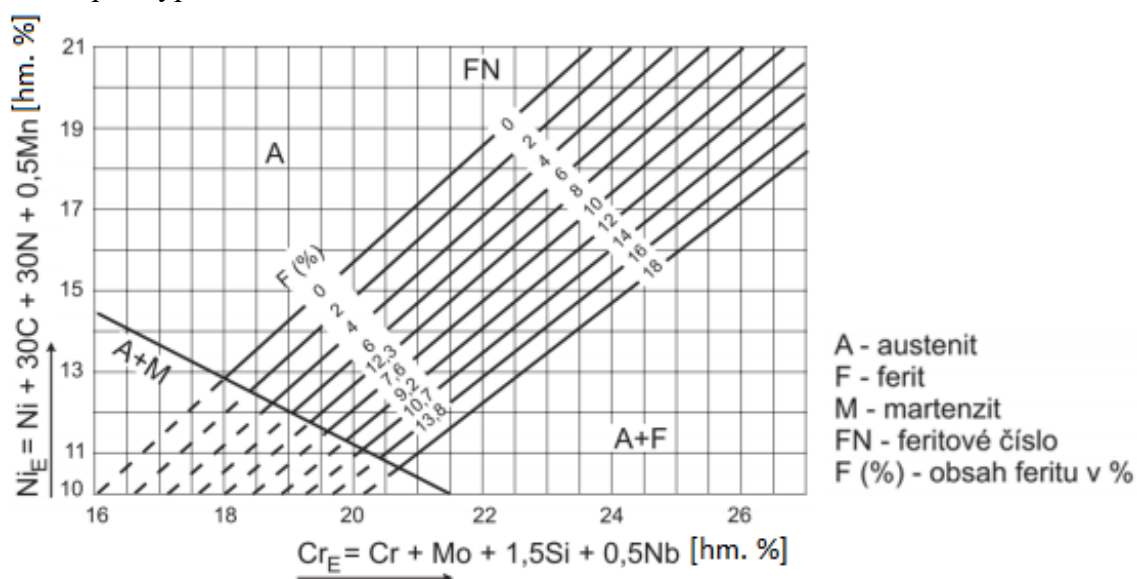
Obr. 23 Schaefflerův diagram [49]

Vzorce pro výpočet ekvivalentů v případě Schaefflerova diagramu vypadají takto:

$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb \quad (3.1)$$

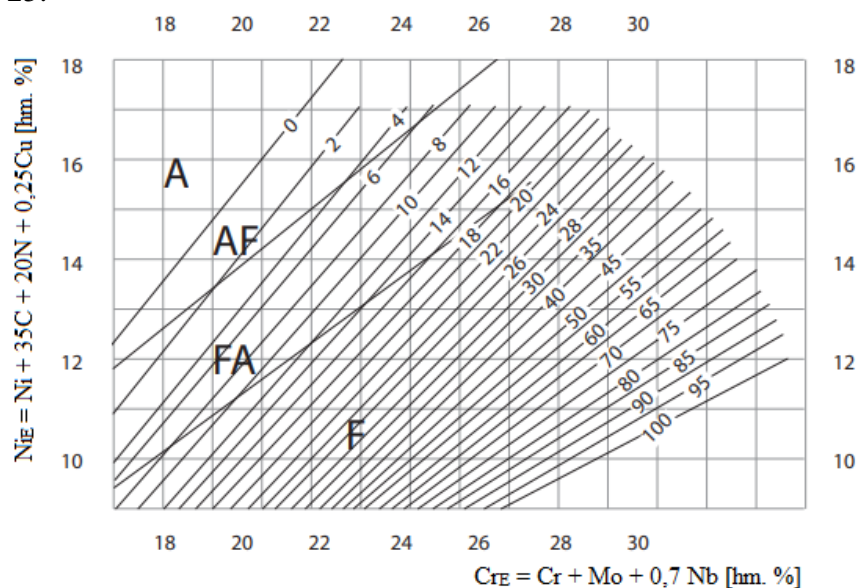
$$Ni_E = Ni + 30C + 0,5Mn \quad (3.2)$$

Dalším běžně využívaným diagramem je De Longův diagram. Oproti Schaefflerově diagramu je v niklovém ekvivalentu již započten dusík, konkrétně s koeficientem 30. Diagram je tedy možné využít i pro austenitické oceli s dusíkem. Diagram lze s dostačující přesností použít pro oceli s obsahem feritu do 15 hm. %. Nedoporučuje se však používat pro oceli s vyšším obsahem manganu. Diagram v průběhu své existence prodělal zásadní změnu, a to konkrétně po normalizaci měřících metod obsahu feritu. Místo obsahu feritu v % se v diagramu objevuje tzv. feritové číslo (zkráceně FN z anglického ferrite number). Hodnota feritového čísla je založena na magnetometrickém měření, které je možné díky feromagnetickým vlastnostem BCC mřížky feritu. Ačkoli není feritové číslo nijak vázáno na hodnotu feritu v %, do hodnoty 10 % feritu jsou hodnoty totožné. De Longův diagram můžeme vidět na obrázku číslo 24, stejně jako vzorce pro výpočet ekvivalentů.



Obr. 24 De Longův diagram [49]

Žádný z obou výše zmiňovaných diagramů nelze využít k odhadům struktury korozivzdorných ocelí s vyšším zastoupením feritu ve své struktuře. Platí to zejména pro duplexní oceli. V reakci na tento problém byl vytvořen nová diagram, tzv. WRC 1992, viz obrázek číslo 25.



Obr. 25 WRC 1992 diagram [50]

Ten umožňuje přesné odhady obsahu feritu, a to v rozsahu 0 až 100 FN. U diagramu došlo rovněž k úpravě výpočtů ekvivalentů, konkrétně do chromového ekvivalentu jsou zahrnuty pouze tyto prvky: Cr, Mo a Nb. Niklový ekvivalent pak počítá s Ni, C, Cu a N. Diagram navíc, kromě struktury vyjadřuje náchylnost na vznik krystalizačních trhlin v závislosti na způsobu krystalizace. V pásmu A a AF kde se vyskytuje primární austenitická krystalizace je výskyt trhlin více pravděpodobný. V oblastech F a AF kde dochází k primární feritické krystalizaci je pak výskyt krystalizačních trhlin ve svarovém spoji nižší. Je třeba zdůraznit, že diagram byl vytvořen pro rychlosti ochlazování odpovídající svařování elektrickým obloukem.

### 3.2 Austenitické oceli [40, 41, 42, 45, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56]

Austenitické oceli reprezentují největší podskupinu korozivzdorných ocelí. Největší jak ve smyslu jednotlivých typů ocelí, tak i co se do vyrobeného objemu týče. Vyznačují se dobrou korozní odolností ve většině prostředích. Pevnost v kluzu mají podobnou jako nízkouhlíkové oceli, tedy zhruba 230 až 300 MPa. Díky austenitické struktuře mají lepší houževnatost a tažnost oproti ocelím uhlíkovým. Tažnost dosahuje hodnot 45–65 %. Provozní teplota ocelí může být až 760 °C, dokonce i vyšší, nicméně nad touto teplotou dochází k významnému snížení korozivzdornosti. Vysokých provozních teplot však dosahují i pod bodem mrazu, v extrémních případech až do teploty -269 °C. Austenitické oceli nachází využití v širokém rozsahu, jedná se o chemický, potravinářský, farmaceutický nebo těžařský průmysl.

Oproti skupině ocelí feritických mají cirka o 50 % větší tepelnou roztažnost a zhruba o 30 % nižší tepelnou vodivost. Při svařování se tento rozdíl projeví vznikem větších napětí a deformací. Obecně jsou však austenitické oceli považovány za dobře svařitelné, pokud jsou dodrženy určité zásady.

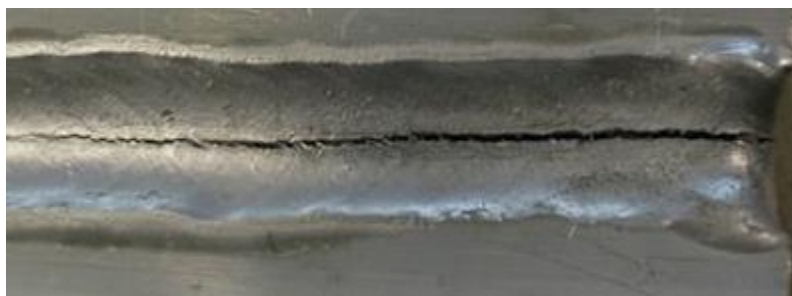
Faktory, které nejvíce ovlivňují svařitelnost austenitických ocelí, jsou tyto tři následující:

- náchylnost k tvorbě teplých trhlin,
- precipitace chromových karbidů a následná mezikrystalová koroze (MKK),
- vznik  $\sigma$ -fáze, která způsobuje zkřehnutí.

➤ Teplé trhliny – někdy též označované jako trhliny za horka. Celkem rozlišujeme tři základní typy těchto trhlin:

- krystalizační (nebo také dendritické) trhliny,
- likvační trhliny,
- polygonizační trhliny.

Krystalizační trhliny (viz obr. 26) se vyskytují pouze ve svarovém kovu, zbývající dva typy se mohou vyskytovat navíc i v TOO svaru. Jsou charakteristické tím, že vznikají v průběhu krystalizace, tedy při tuhnutí svarového kovu. Trhliny se vytváří v důsledku vyčerpání plasticity svarového kovu. Příčinou tohoto vyčerpání jsou prvky jako S, P, které se vyskytují v oceli jako nečistoty nebo Si, Ti, které se vyskytují v oceli jako minoritní legující prvky. Výše



Obr. 26 Krystalizační trhlina [53]

zmíněné prvky pak tvoří nízkotavitelná eutektika se železem či niklem. Tato eutektika mají výrazně nižší teplotu tavení než základní materiál. Obvykle se tvoří v rozmezí teplot 900 až 1100 °C.

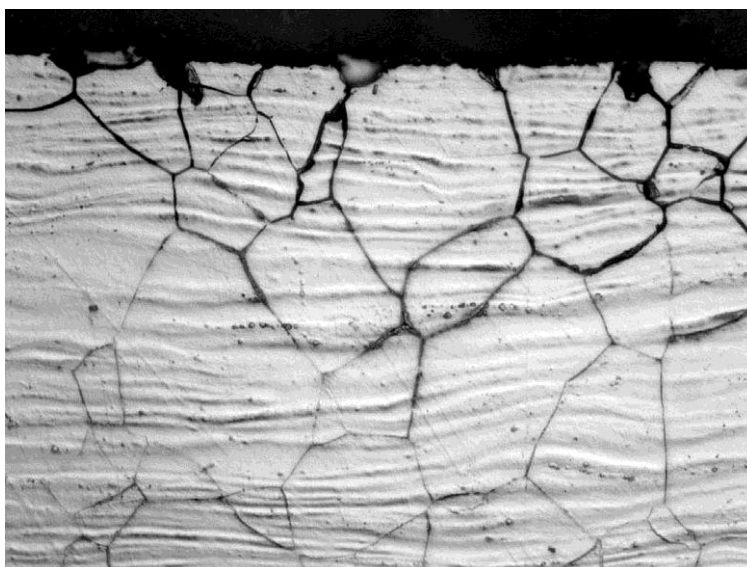
Obsah síry lze efektivně snížit její vazbou na mangan, kterou vzniká MnS. Sulfid manganatý pak odchází během svařování do strusky. Fosfor, jakožto další nežádoucí prvek lze eliminovat pouze využitím jeho vysoké rozpustnosti v  $\delta$ -feritu. Jeho rozpustnost v  $\delta$ -feritu je cca desetkrát větší, než je tomu v austenitu (při teplotách pod křivkou solidu). Obsah křemíku či titanu omezujeme pouze na množství, které je potřeba pro stabilizaci oceli.

Největší vliv na snížení náchylnosti austenitických ocelí k vytváření trhlin za horka je obsah  $\delta$ -feritu ve struktuře. Při teplotě okolí se ve svarovém kovu požaduje obsah  $\delta$ -feritu mezi 3 až 15 FN. V případě překročení tohoto množství dojde ke ztrátě antikoročních vlastností oceli. Obsah  $\delta$ -feritu (Feritové číslo) se stanovuje magnetometricky (objemovou metodou), tato metoda je přesnější oproti metalografické metodě (plošná metoda).

Pro minimalizaci rizika vzniku trhlin za tepla doporučuje norma ČSN EN 1011-3 následující:

- použití přídavných materiálů s nízkým obsahem nečistot a zvýšeným obsahem Mn,
- nízký tepelný příkon a zabránění tak vzniku širokých svarových lázní,
- snížit svařovací rychlost,
- dodržení mezihousenkové teploty (tzv. teploty interpass) maximálně 150 °C,
- snížit tuhost upnutí spoje.

➤ Mezikrystalová koroze – jedná se velmi závažný a nepříjemný jev, který se objevuje buďto v tzv. pásmu zcitlivění, tedy v rozmezí teplot 425 až 815 °C, nebo v případě ochlazování oceli z teplot nad 1000 °C. Názorů na vysvětlení příčiny náchylnosti korozivzdorných ocelí k mezikrystalové korozi (dále jen MKK) je několik, nicméně všechny se shodnou v tom, že sklon k MKK souvisí převážně s tvorbou nových fází na hranicích zrn tuhého roztoku. Zejména tedy precipitací karbidů nebo nitridů vlivem tepelné změny. Tvorba těchto nových fází souvisí se změnou rozpustnosti uhlíku a dusíku v austenitu s ohledem na změnu teploty. Rozpustnost uhlíku a dusíku v austenitu prudce klesá se snižující se teplotou, prudkým ochlazením je však možno docílit udržení obou prvků v tuhém roztoku. Pokud však dojde k pomalému ochlazení (nebo ohřátí) uhlíkem přesyceného tuhého roztoku, budou na hranicích zrn austenitu precipitovat karbidy. Dojde tak k vyvolání citlivosti k mezikrystalové korozi. Na obrázku číslo 27 je vidět mezikrystalová koroze u austenitické oceli.



Obr. 27 Mezikrystalová koroze [54]

Zatímco v příčinách vzniku sklonu korozivzdorných ocelí k MKK panuje téměř naprostá shoda, ve vysvětlení, proč právě karbidové precipitáty a jiné fáze tuto korozi vyvolávají, existuje více teorií. V současné době se uvádějí celkem tři teorie:

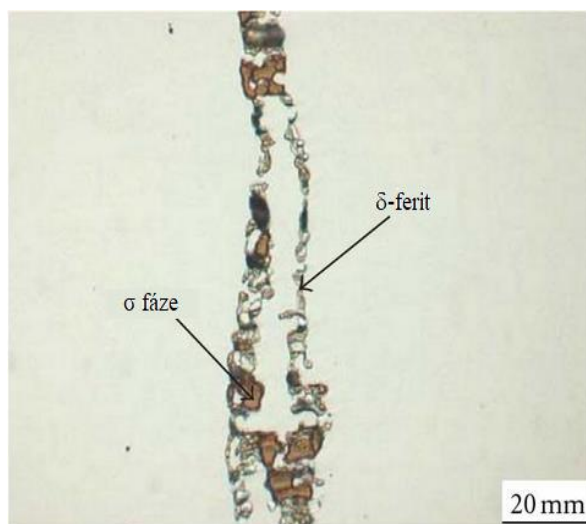
- Teorie ochuzení – tedy změna chemického složení tuhého roztoku na rozhraní zrn v okolí precipitátů. Tato teorie vysvětluje MKK jako snížení obsahu chromu v okolí, kde dochází k tvorbě karbidů a nitridů chromu. Dojde tedy k ochuzení hranic zrn o chrom. Uhlík a dusík jsou intersticiálně rozpuštěny v tuhém roztoku difundují k hranicím zrn značně rychleji nežli chrom. Proto uhlík a dusík, kterých je zapotřebí k tvorbě nových fází, difundují k rozhraní i z vnitřku zrn. Naopak chrom pochází pouze z okrajů austenitických zrn. Následně tedy dojde k poklesu chromu v povrchové vrstvě natolik, že vrstva ztratí svou schopnost pasivace, a tudíž podléhá korozi. Náchylnost k MKK jde tedy na vrub prostorům mezi částicemi precipitátů, kde klesl obsah chromu pod 12 %.
- Teorie pnutí – to jest energetickými rozdíly v místech vylučování sekundární fáze. Na hranicích různě orientovaných zrn se začne vylučovat a postupně růst sekundární fáze, což vede ke vzniku vnitřních pnutí. Následkem toho vznikají ve struktuře oceli značné energetické rozdíly, které se projeví v nedokonalé pasivaci.
- Teorie článků – tedy rozpouštěním rozhraní zrn na základě vzniku místních článků. Článek je tvořen katodou, v tomto případě tedy ušlechtlejším karbidem a anodou, kterou je okolní, méně ušlechtilý kov.

Je patrné, že všechny teorie, které jsou výše zmíněné, předpokládají jako příčinu vzniku MKK právě precipitaci karbidů nebo nitridů chromu.

Mezikystalové korozi se lze bránit tak, že potlačíme precipitaci karbidů a nitridů chromu. V praxi to lze ovlivnit následujícími čtyřmi parametry:

- Chemické složení oceli – v tomto ohledu je největším problémem obsahu uhlíku, kdy za zvýšeného množství dojde ke vzniku karbidů, a tedy zcitlivění austenitické oceli k MKK. Problém lze řešit drastickým snížením uhlíku pod hodnotu 0,03 hm.%, pod touto úrovní nemůže MKK nastat. U svarů s velmi rychlými cykly je možné zvýšit obsah až na 0,05 hm.%
- Doba setrvání v oblasti kritických hodnot – při žhání okolo teploty 650 °C dochází k nejvýraznějšímu zcitlivění, při vyšší nebo nižší teplotě by bylo potřeba mnohem větších časů pro žhání. Rychlost postupu MKK nezávisí pouze na době ohřevu, ale též na její teplotě. Vliv teploty a doby ohřevu na MKK nám ukazují tzv. Rollasonovy diagramy.
- Stabilizace oceli – v druhém bodu byla řeč o snížení uhlíku pod hranici 0,03 hm.%, to je však v praxi velmi obtížné. Řešením je proto přidání prvků s vyšší afinitou k uhlíku, než má chrom (např. Ti, Ni, Ta). Tyto prvky pak vytvoří karbidy a znemožní tak tvorbu chromových karbidů. Pro vznik karbidů je však potřeba dodržet stanovené poměry prvků ku uhlíku. Například pro Ti platí následující poměr  $Ti/C \geq 4$ .
- Tepelné či mechanické zpracování – u oceli ohřáté nad 950 °C dojde k pomalému rozpouštění karbidů chromu a následným rychlým ochlazením zůstane ocel v austenitickém stavu. Rychlé ochlazení zabrání případné precipitaci a ocel tak nebude náchylná k MKK. Rovněž bylo prokázáno, že v případě žhání austenitické oceli na teplotách 650 až 700 °C po dobu 1000 h nastane regenerace struktury. Tuto regeneraci je možno urychlit předchozím tvářením za studena.

➤ Vznik fáze  $\sigma$  – sigma fáze je intermetalická sloučenina, která je charakteristická svou křehkostí a vysokou tvrdostí. V oceli, která obsahuje sigma fázi, pak dochází k nárstu pevnostních charakteristik (mez pevnosti, kluzu), zároveň však klesá tažnost a houževnatost. Fáze vzniká při svařování v rozmezí teplot 500 až 820 °C. Při obsahu chromu 41 až 50 % se fáze vyskytuje sama, při obsazích v rozmezí 26 až 41 % a 50 až 71 % je doprovázena fází alfa. Při teplotách nad 825 °C se sigma fáze přemění na zmiňovanou alfa fázi. Na obrázku číslo 28 lze vidět sigma fázi ve válcované oceli X5CrNiMo17-12-2 dle ČSN EN.



Obr. 28  $\sigma$ -fáze v mikrostruktuře [55]

Někteří činitelé, kteří podporují vznik fáze  $\sigma$ :

- feritotvorné prvky, které usnadní vznik fáze  $\alpha$  bohaté na chrom a usnadní přeměnu ve fázi  $\sigma$ ,
- karbidotvorné prvky (Ti, Zr, Ni), které znemožní vázat chrom na karbidy a je tedy dosaženo vyšších obsahů chromu ve struktuře,
- místní přesycení chromem při rychlém ochlazení,
- intenzivní tváření za studena,
- únava za tepla,
- vliv teploty ohřevu v kritické oblasti, ta umožní zvýšení difuzní rychlosti a tím pádem se zvýší množství vyloučené fáze  $\sigma$ .

Austenitické oceli se doporučují svařovat přidávnými materiály, které mají stejné, případně podobné složení. Svařovat lze takřka všemi známými metodami sváření za předpokladu, že bude zajištěna dokonalá ochrana svarového kovu. Není třeba předepisovat předhřev, protože oceli nejsou kalitelné a nepodléhají vzniku studených trhlin. Předehřev by naopak mohl působit nepříznivě, neboť by mohlo dojít k ovlivnění korozní odolnosti svarového spoje. Jak bylo řečeno, austenitické oceli jsou náchylné k tvorbě trhlin za horka, z tohoto důvodu je vhodné omezit tepelný příkon do svaru (maximální hodnota  $15 \text{ kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) a teplotu interpass maximálně na 150 °C.

Jako ochranné atmosféry se využívá čistý argon, případně jeho směsí s vodíkem nebo heliem. Nedoporučuje se používat směsi plynů s obsahem oxidu uhličitého vyšším než 2,5 %.

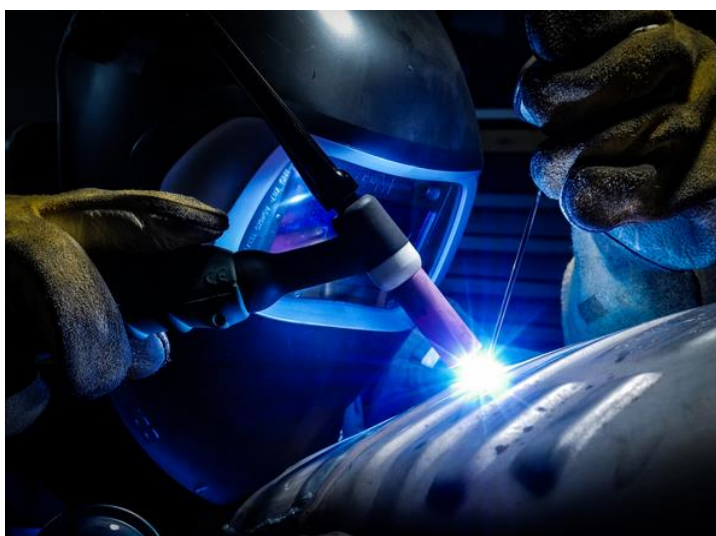
Svarové spoje u austenitických ocelí není potřeba dále tepelně zpracovávat. Pouze v případě tuhých či tvarově složitých svařenců se předepisuje žihání pro snížení vnitřních pnutí.

#### 4 TECHNOLOGIE TIG [57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66]

Svařovací metody se dělí na dvě základní skupiny, kdy kritériem tohoto dělení je typ dodané energie pro vznik svarového spoje:

- metody tavného svařování (působení tepelné nebo radiační energie),
- metody tlakového svařování (působení mechanické energie).

Metodu TIG, tedy svařování netavicí se elektrodou v ochranném plynu, řadíme do první skupiny. Praktickou ukázkou svařovacího procesu můžeme vidět na obrázku 29. Zdroj tepla je v tomto případě elektrický oblouk, ten hoří mezi netavicí se elektrodou a základním materiálem v ochranné atmosféře inertního plynu. V praxi je nejčastěji využíván argon, případně argon s příměsí. Jelikož je potřeba, aby se elektroda v průběhu svařovacího procesu netavila, je nutné, aby byla vyrobena z dostatečně odolného materiálu. Tomuto požadavku skvěle vyhovuje wolfram.



Obr. 29 Svařování TIG [65]

Svařování se provádí buďto roztavením a následným slitím základních materiálů (není tedy nutný přídavný materiál), nebo je použito přídavného materiálu v podobě drátu, který by měl mít zhruba stejné chemické složení jako základní materiál. Z hlediska produktivity je možno svařovat třemi způsoby. První způsob je ruční, kdy svářeč drží v jedné ruce hořák a v druhé drát, který dle potřeby natahuje, proces je tak v podstatě stejný, jako při svařování plamenem. Druhým způsobem je částečná mechanizace. Při tomto způsobu svářeč drží pouze hořák a drát je podáván automaticky s pomocí motorem poháněného podavače. V posledním případě se jedná o plně automatický proces. Hořák je upnut například v robotu a všechny parametry jsou řízeny automaticky, včetně posuvu hořáku a podávání drátu.

Přestože se metoda TIG v širokém měřítku prosazuje v posledních zhruba 20 letech, rozhodně se nejedná o žádnou technologickou novinku. Metoda má svůj původ ve Spojených státech amerických, kde ji na přelomu třicátých a čtyřicátých let vynalezl jistý Russell Meredith ze společnosti Northrop Aircraft Company. Metodu tehdy pojmenoval jako Heliarc, což můžeme do češtiny volně přeložit jako heliumoblouk. V této době se používalo jako ochranného plynu helia. Díky Meredithově vynálezu bylo možné svařovat slitiny hliníku a hořčíku. Pro americký průmysl to znamenalo velkou výhodu a byl schopen produkovat lodě nebo letadla rychleji než kdy předtím, což znamenalo hlavně během válečných let nespornou výhodu. Patent následně zakoupila Linde Division of Union Carbide. Během následujících desetiletí firma vyvíjela a prodávala velké množství hořáků, dílů či přídavných materiálů, a to až do 70. let, kdy patent vypršel. Následný prudký rozvoj polovodičové techniky umožnil, aby zdroje pro svařování byly mnohem více účinné, kompaktnější a lehčí.

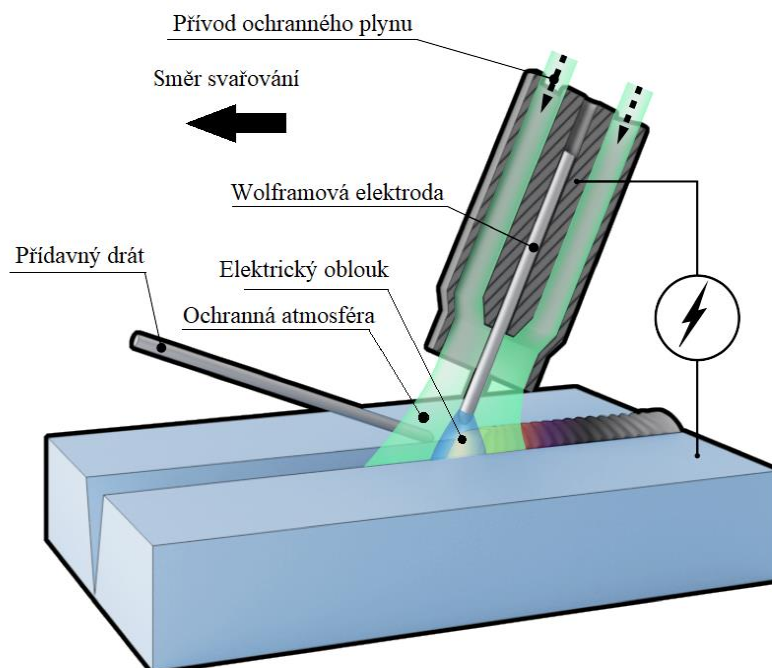
V literatuře můžeme často najít metodu TIG i pod jinými názvy. Jmenovitě například WIG nebo GTAW či metoda 141 dle ČSN EN ISO 4063. Tabulka číslo 10 níže zobrazuje, co která zkratka znamená a kde má svůj původ. V případě, že při svařování není použit přídavný materiál (drát) jedná se o metodu 142 dle ČSN EN ISO 4063, anglicky označovanou jako autogenous TIG welding. Podstata a princip metody jsou však totožné jako u metody 141.

Tabulka 10 Zkratky metody 141 [67]

Podle ČSN EN ISO 4063	Britská zkratka	Německá zkratka	Americká zkratka
141 Svařování netavicí se elektrodou v ochranném plynu	TIG Tungsten Inert Gas Welding	WIG Wolfram Inert Gas Welding	GTAW Gas Tungsten Arc Welding

Mezi hlavní přednosti TIG metody (schéma metody obr. 30) patří výborná kontrola nad svarovou lázní. Protože nedochází k neustálému přísuvu přídavného materiálu jako u jiných metod (MIG/MAG, ROE) je svářeč schopen lépe ovlivňovat lázeň a kvalitu vznikajícího svarového spoje. Další výhodou použití svařování TIG metody je teplota oblouku. Elektrický oblouk dosahuje velmi vysokých teplot a je proto možné svařovat vysokolegované oceli, které by např. klasickým autogenem svařovat nešly vzhledem k nízké teplotě plamene. Teplotní pole je velmi úzké a nedochází tedy ke vzniku velké tepelně ovlivněné oblasti. Vzhledem k této skutečnosti pak nedojde k nadměrným deformacím. Další nespornou výhodou je vzhledem k použití ochranného plynu dokonalá ochrana svarové lázně před účinky okolní atmosféry. V průběhu svařování nedochází ke vzniku strusky a tvorbě jisker či rozstříku (za předpokladu, že svařovaný materiál je čistý). V neposlední řadě je potřeba k výčtu výhod uvést možnost svařovat ve všech polohách a velkou řadu materiálů, jako korozivzdorné oceli, hliník, hořčík, niklové slitiny atd.

Mezi nevýhody patří technická náročnost metody. Svařovací zdroje pro tuto metodu jsou konstrukčně komplikovanější a tím pádem i dražší. Zejména to pak platí pro svářečí zdroje, které umožňují svařovat střídavým proudem (obsahují tedy velké množství regulačních prvků). Dalším mínusem metody, a to převážně při ručním typu svařování je nízká produktivita. Proto není metoda příliš vhodná pro nasazení ve velkosériové výrobě.



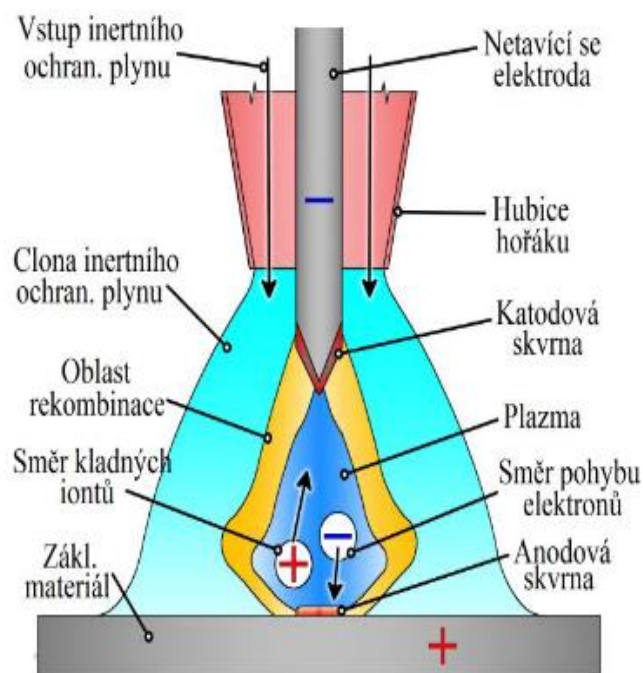
Obr. 30 Schéma svařování [66]

#### 4.1 Elektrický oblouk, typy proudů [62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73]

Jak již bylo zmíněno, metoda TIG se řadí mezi tavné metody. Zdrojem tepla pro vytvoření svarového spoje je tedy elektrický oblouk. Elektrický oblouk je v podstatě elektrický výboj, který hoří ve vodivém prostředí, kterým je plyn. K tomu, aby se stal plyn vodivým je potřeba, aby došlo k ionizaci. Ionizace je proces, ve kterém dochází ke štěpení neutrálního atomu na záporné elektrony a kladné ionty, následně vzniká plazma (často označována za čtvrtý stav hmoty). Po zapálení oblouku je do okolního prostoru vyzařováno světlo, teplo a škodlivé UV záření.

Samotný elektrický oblouk se skládá ze tří částí (obr. 29):

- Katodová skvrna – zde jsou termickou emisí emitovány prvotní elektrony, díky kterým dojde k zapálení a ionizaci plynu. Teplota katodové skvrny se zvyšuje s tím, jak roste proud. Dochází zde i k ochlazení vlivem zmíněné termoemise (spotřebovává se práce pro uvolnění elektronů). Rozsah teplot je cca 2400 až 3000 °C.
- Sloupec oblouku – jedná se o prostřední část tvořenou ionizovaným plynem, tedy plazmou. Teplota zde dosahuje až 16000 °C (pod katodovou skvrnou). Maximální teploty jsou ve středu oblouku a směrem ke krajům klesají. U metody TIG se jako průměrná teplota udává rozsah 6500 až 9000 °C.
- Anodová skvrna – nachází se na základním materiálu, jsou zde neutralizovány dopadající elektrony. Při dopadu se přemění jejich kinetická energie na tepelnou a částečně též na elektromagnetické záření. Na anodové skvrně je rozsah teplot uváděn mezi 2700 až 3600 °C.



Obr. 31 Elektrický oblouk a jeho části [73]

Při svařování TIG metodou je potřeba správně zvolit polaritu proudu, můžeme svařovat jak stejnosměrným, tak i střídavým proudem, případně pak impulsním proudem.

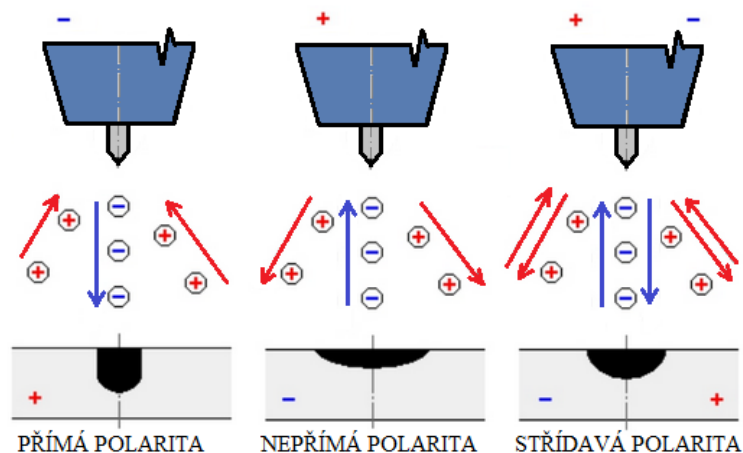
- Svařování stejnosměrným proudem – ve většině případů je elektroda zapojena k zápornému pólu zdroje a základní materiál tedy k pólu kladnému. Tuto konfiguraci označujeme jako přímé zapojení. Teplo oblouku je distribuováno v tomto poměru: 1/3 připadá na elektrodu a zbylé 2/3 na základní materiál. Nedochozí tedy k přílišnému přetěžování elektrody, ta je tak schopna snášet i větší proudové zátěže. Zároveň je docíleno hlubokého průvaru. Oblast použití přímého zapojení je široká, od všemožných typů ocelí přes měď a nikl až po titan a jejich slitiny. Osvědčilo se rovněž svařování hliníku, kdy vlivem vysoké teploty dojde k rozpuštění oxidů hliníku, ty se pak stahují k okraji svarové lázně a střed zůstává čistý. Při zapojení v konfiguraci nepřímé polarity, tedy elektroda je na plus pólu zdroje a materiál na pólu minusovém, je distribuce tepla opačná. Je tedy třeba použít mnohem silnější elektrody, a to i pro relativně malé proudy. Z tohoto důvodu není konfigurace příliš využívána, jen výjimečně při svařování tenkostěnných hliníkových svarků.

- Svařování střídavým proudem – v případě střídavého proudu dochází ke svařování oběma výše zmíněnými konfiguracemi, tedy přímou a nepřímou. Střídavý proud je totiž tvořen zápornou a kladnou půlvlnou (obr. 32), které se periodicky střídají. V případě české rozvodné sítě je počet cyklů roven frekvenci v síti, tedy 50 Hz. Střídavý proud se využívá zejména pro svařování hliníku, případně hořčíku a jejich slitin. Tyto kovy si vytváření na svém povrchu pasivační vrstvu oxidů, které mají vyšší stupeň tavení, nežli je samotná základní matrice kovu. V případě hliníku je teplota tavení oxidů 2050 °C a teplota tavení hliníku samotného pouze 658 °C. Abychom se oxidů zbavili, použijeme právě střídavý proud, kladná půlvlna umožňuje tzv. čistící efekt, tedy roztavení oxidů a jejich odpaření. Naopak záporná půlvlna pak způsobí natavení hliníku a jeho následné svaření. Moderní svařovací zdroje disponují funkcí přizpůsobit velikost jednotlivých půlvln, může tak dojít např. ke zvýšení čistícího efektu posílením kladné půlvlny. Porovnání střídavého proudu se stejnosměrným (při obou polaritách) a jejich vliv na svarovou lázeň ukazuje obrázek č. 33.



Obr. 32 Průběh střídavého proudu [72]

- Svařování impulsním proudem – jedná se o progresivní a moderní variantu. Intenzita proudu se pravidelně mění v čase, a to mezi dvěma hodnotami, základním proudem  $I_z$  a impulsním proudem  $I_p$ . Tvar průběhů jednotlivých pulzů záleží na zdroji, může být sinusový, pravoúhlý nebo třeba lichoběžníkový. Základní proud dosahuje nízkých hodnot (cca 10 až 15 A) a jeho funkcí je ionizace oblasti. V případě, že doba základního proudu je víc než dvojnásobná oproti délce doby pulzu, dojde ke ztuhnutí svarové lázně. Funkci impulzního proudu je natavení materiálu a tvorba svarové lázně. Velikost lázně se dobře koriguje skrze velikost amplitudy a doby trvání impulzu. Průměrné hodnoty svařovacího proudu jsou nižší, než je tomu při klasickém svařování (konstantní proud). Proto svary mají menší TOO a zmenšenou náchylnost k tvorbě trhlin. Výhody použití impulzního typu proudu jsou zejména lepší mechanické a plastické vlastnosti svaru, dobré formování housenky a možnost svařovat i tenké plechy (0,5 mm).



Obr. 33 Možnosti zapojení elektrod [62]

Při zapalování elektrického oblouku lze postupovat dvěma způsoby. Prvním je zapalování s dotykem, zvané Lift Arc. Druhým zapalování bezdotykové, též označované jako vysokofrekvenční (HF).

- Dotykové zapalování – dotykové zapalování můžeme rozdělit v podstatě na dva typy. Prvním z nich je klasické škrtnutí o základní materiál a oddálení elektrody, stejně jako u svařování obalovanou elektrodou. Nevýhodou je kontaminace elektrody základním materiálem a její poškrábání. Tomuto způsobu se však nelze vyhnout při použití zdroje, který je kromě TIG svařování určen i pro svařování ROE. Druhým typem je již zmiňovaný Lift Arc. Při něm dojde pouze k dotyku a postupným oddálením dojde k zapálení oblouku. Tento způsob minimalizuje kontaminaci a poškrábání elektrody, je však použitelný pouze pro stejnosměrný proud.
- Bezdotykové zapalování – Při zapalování nedochází ke kontaktu se základním materiálem. Princip spočívá ve využití elektrického výboje generovaném zdrojem vysokého napětí (1 kV) s vysokou frekvencí. V praxi se hořák přiloží několik milimetrů nad materiál, svářeč stiskne hořákovou spoušť, čímž aktivuje HF ionizátor a dojde k přeskočení výboje (jiskry) mezi elektrodou a základním materiálem. Výhodou tohoto způsobu je, že nedochází ke kontaminaci jak základního materiálu, tak materiálu elektrody. Rovněž nedojde k poškrábání elektrody.

#### 4.2 Svařovací zdroje [43, 62, 64, 67, 68, 74]

Svařovací zdroje dodávají do uzavřeného svařovacího okruhu elektrický proud, který splňuje požadované vlastnosti pro danou metodu. V průběhu let vznikla celá řada různých zdrojů, přičemž každý z nich nachází uplatnění ve zvolené oblasti. Zdroje lze dělit podle různých kritérií, zejména pak dle následujících:

- Dle svařovacího proudu na: zdroje střídavého, stejnosměrného a usměrněného proudu.
- Dle konstrukce na: točivé zdroje (dynama) a netočivé zdroje (transformátory, usměrňovače a invertory).
- Podle statické charakteristiky na: zdroje se strmou, polostrmou a plochou charakteristikou.

Na výrobu a provoz jsou kladeny mnohé požadavky, zejména pak tyto: dobré zapálení oblouku a jeho stabilní hoření, bezpečnost provozu. Konstrukce musí splňovat příslušné platné normy, statická charakteristika musí odpovídat použité technologii svařování, plynulá regulace svařovacích parametrů, jednoduchá a nenáročná obsluha, vysoká spolehlivost a v neposlední řadě nízké provozní a pořizovací náklady.

Dynama se řadí mezi točivé zdroje stejnosměrného proudu. Jsou vybavena elektrickým či spalovacím motorem, který pohání dynamo. Lze je tak využít i na místech, kde není přístup k elektrické síti. V minulosti se u nás tyto stroje vyráběly pod označením Triodyn, pro metodu TIG se dnes téměř nevyužívají. Mezi výhody patří strmá charakteristika, tedy že nedojde ke změně proudu při kolísajícím napětí. Nevýhody spočívají ve vysoké hlučnosti a hmotnosti spolu s náročnou údržbou.

Transformátory jsou netočivé zdroje střídavého proudu. Díky transformátoru je zdroj schopen měnit síťové napětí na požadované hodnoty pro daný typ svařování. Výhodou je tichý chod, velmi jednoduchá konstrukce, spotřeba elektrické energie a provozní spolehlivost. Mezi nevýhody patří vysoká hmotnost a povětšinou stupňovitá regulace a v případě TIG metody doplňky na úpravu proudu.

Rozvoj polovodičové elektrotechniky umožnil výrobu usměrňovačů, ty patří do skupiny netočivých zdrojů. Skládají se z transformátoru (mění střídavé napětí a proud ze sítě) a z usměrňovacího obvodu (diody nebo tyristory), který mění střídavý proud na stejnosměrný. Dále je vybaven měřícími a regulačními prvky.

Nemodernější skupinou jsou invertory. Jedná se o střídačové netočivé zdroje, které pracují na principu středofrekvenčních měničů. Jsou schopny ze vstupního střídavého napětí vytvořit napětí o hodnotě až 100 kHz o stejnosměrném či střídavém průběhu. Srdcem přístroje je mikroprocesor pro řízení svařovacích parametrů, jejich plynulou regulaci a komunikaci s obsluhou skrz displej. Mezi výhody patří nízká hmotnost, a malá velikost (obr. 34), vysoká spolehlivost a velmi dobré výkonové parametry, nevýhodou je pak vyšší cena.



Obr. 34 Svařovací invertor [74]

U svařovacího zdroje je důležitou vlastností jeho statická charakteristika, tedy závislost pracovního napětí na svařovacím proudu za ustáleného stavu. Krajiní body charakteristiky jsou dány dvěma body, konkrétně stavem naprázdno a stavem nakrátko. Během stavu naprázdno neprotéká obvodem žádný proud a napětí dosahuje nejvyšší hodnoty, naopak při stavu nakrátko (kontakt elektrody – materiál) je proud nejvyšší a napětí téměř nulové. Průběh charakteristiky může mít strmý, polostrmý, nebo plochý průběh. V případě ručního TIG svařování je vhodná strmá charakteristika, kdy při velké změně napětí (pohyb ruky svářeče) dojde jen k malé změně proudu. Pokud je použito automatizovaného svařování TIG je vhodnější charakteristika plochá. U té dojde k výrazné změně proudu již při malé změně napětí.

#### 4.3 Svařovací hořáky [43, 62, 63, 64, 67, 68, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82]

Svařovací hořák plní několik důležitých funkcí, zároveň se jedná o nejexponovanější součást svařovacího zařízení. V první řadě hořák zajišťuje přívod ochranného plynu a jeho správné nasměrování do místa svaru. Dále slouží k přívodu elektrického proudu k elektrodě, případně přívod a odvod chladicí vody. V neposlední řadě pak zajišťuje správnou fixační polohu wolframové elektrody. Pro svařování stejnosměrným a střídavým proudem se používají stejné hořáky, liší se pouze velikostí. Je třeba brát v potaz, že zatížení elektrody (potažmo celého hořáku) v případě střídavého proudu je větší, nežli při použití proudu stejnosměrného (přímá polarita). Ukázkou hořáku a jeho jednotlivých dílů můžeme vidět na obrázku 35.



Obr. 35 Části svařovacího hořáku [77]

Dle chlazení dělíme hořáky na dvě skupiny. Při použití proudu 150 A, maximálně 200 A, je hořák ochlazován procházejícím plynem. Při vyšších proudech, až do hodnot 500 A, se využívá chlazení vodou. V případě chlazení vodou je hořák ke zbytku svařovacího zařízení připojen jedním nebo dvěma kabely. Jedním proudí ochranný plyn, druhý kabel je proudový vodič. V případě jejich sloučení (vzájemně jsou řádně izolovány) do jednoho, je chladicí efekt umocněn. Při chlazení vodou je třeba disponovat extra přídavným zařízením, které obsahuje čerpadlo, nádobu, chladič, ventilátor atd. V tomto případě je pak hořák připojen ke třem kabelům: jeden vodu přivádí, druhý ji odvádí a poslední kabel je pak proudový vodič. I zde může dojít ke spojení přívodního a proudového kabelu. Na obrázku 36 níže můžeme vidět porovnání hořáků v řezu. U vodou chlazeného hořáku napravo lze vidět dutinu pro proudící vodu.



Obr. 36 Porovnání hořáků [78, 79]

Pevnou fixaci a přívod proudu k elektrodě zajišťuje kleština. Ta se vkládá do kuželového otvoru v domečku kleštiny, za pomoci ručně šroubované krytky elektrody, která je opatřena závitem. Je důležité, aby upnutí elektrody bylo pevné. Při nesprávném upnutí by pak docházelo k zvýšení přechodového odporu. K tomu, aby byl plyn dobře přiváděn do místa svaru slouží plynová tryska, která usměrňuje jeho proudění. V případě, že je hořák chlazen pouze plynem, je tryska vyrobena z keramického materiálu. Pro vodou chlazené hořáky jsou pak trysky vyráběny nejčastěji z mědi. Průměr trysky se volí dle toho, jak velkou plochu chceme plynem chránit. Orientační průměry v závislosti na proudu jsou vypsány v tabulce 11.

Tabulka 11 Doporučené průměry plynových trysek dle proudu [64]

Proudový rozsah [A]	Průměr plynové trysky [mm]
Do 70	6–9
70–150	9–11
150–250	11–13
250–300	13–15
300–500	15–18

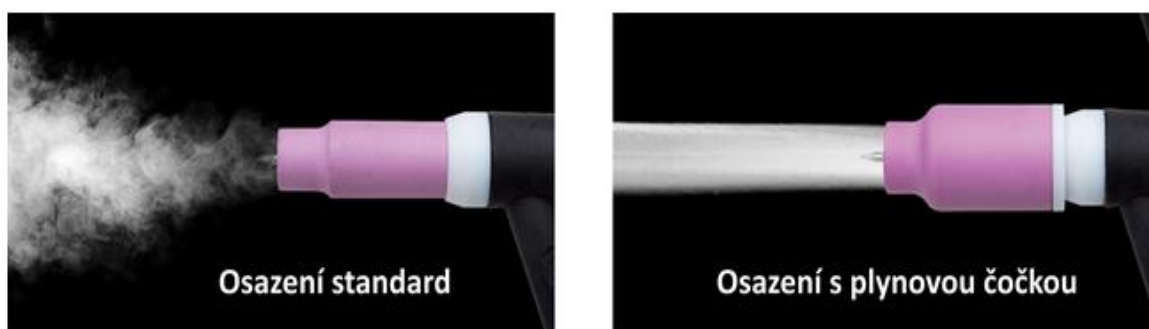
Důležitou součástí hořáku je izolační kroužek. Ten se vkládá mezi plynovou trysku a tělo hořáku a zabraňuje tak přenosu tepla na hořák. Pokud by nebyl použit izolační prvek, hořák by byl příliš tepelně namáhán, což by vedlo k nižší životnosti a degradaci hořáku.

K zakrytí wolframové elektrody slouží zadní kryt. Mimo jiné kryt slouží k zatlačení kleštiny do domečku. V případě svařování na těžko přístupných místech se doporučuje používat krátké kryty elektrod pro zvýšení manipulovatelnosti s hořákem.

Další součástí hořáku je domeček kleštin, do kterého se zasouvá kleština s elektrodou. Pro zlepšení ochrany inertním plynem bývá klasický kleštinový domeček (obrázek 37 vlevo) nahrazován tzv. plynovou čočkou neboli sítkem (obrázek 37 vpravo). Princip zlepšení ochrany spočívá ve změně typu proudění ochranného plynu. U klasického domečku jsou po obvodu rozmístěny dvě, případně čtyři díry, kterými proudí plyn ven do plynové trysky. V tomto případě se jedná o turbulentní proudění (obrázek 38) a ochrana svarové lázně není tak kvalitní. V případě použití plynové čočky, která má na jednom konci sítko opatřené řadou otvorů. Díky sítku je proudění plynu laminární a dochází tak k efektivnější ochraně svaru. Mimo jiné rovněž dochází ke snížení spotřeby plynu, a to až o 50 %. Plynová čočka také umožňuje vysunutí elektrody o 15 až 20 mm, čímž dojde ke zlepšení viditelnosti svarové lázně.



Obr. 37 Standartní domeček a plynová čočka [80, 81]



Obr. 38 Porovnání turbulentního a laminárního proudění [82]

#### 4.4 Wolframové elektrody [62, 64, 67, 68, 83, 84, 85, 86]

Netavící se elektrody, jsou tyčky kruhového průřezu, vyrobené ze spékaného wolframu. Wolfram se jako prvek vyznačuje svou vysokou teplotou tavení, konkrétně až 3410 °C. Teplota varu dosahuje 5700 °C, měrný elektrický odpor  $5,36 \cdot 10^{-6} \Omega$  a hustota 19,1 g/cm<sup>3</sup>. Funkcí elektrody je přívod elektrického proudu a koncentrace sloupce elektrického oblouku na místo svaru. Elektrody jsou vyráběny pouze z wolframu o čistotě 99,9 % W nebo jsou legovány oxidy prvků jako například thorium (Th), cer (Ce), lanthan (La), yttrium (Y) nebo zirkonium (Zr). Legované elektrody vykazují vyšší proudovou a tepelnou zatížitelnost (v případě legování oxidem La se žhavicí teplota blíží k 4200 °C. Oxidy legujících prvků dále zvyšují množství emitovaných elektronů. Tato skutečnost se kladně promítne na zapalování oblouku a jeho stabilitě při hoření. V neposlední řadě se zvýší živostnost legovaných elektrod.

Jaký typ elektrody, případně jaký její průměr použijeme závisí na druhu proudu (a jeho velikosti) a oblasti použití. Klasifikace elektrod dle chemického složení nám udává norma ČSN EN ISO 6848 – obloukové svařování a řezání – netavící se wolframové elektrody – klasifikace.

Norma nám tedy uvádí normalizované průměry a délky elektrod a vhodnou velikost proudu pro daný druh svařovaného materiálu. Elektrody jsou vyráběny v průměrech od 0,5 až 10 mm. Jejich délky jsou pak 50, 75, 150 nebo 175 mm. Udává se, že za hodinu svařování se spotřebují 4 mm elektrody. K přehlednějšímu se kromě zkratky složené z písmen a číslic využívá i barev. Rozdělení elektrod a jejich značení zobrazuje následující tabulka 12.

Tabulka 12 Přehled elektrod a jejich značení [85]

Označení elektrody	Legující prvky v %	Barva
<b>WP</b>	Čistý wolfram 99,8 %	Zelená
<b>WT10</b>	Thorium 1 % (ThO <sub>2</sub> )	Žlutá
<b>WT20</b>	Thorium 2 % (ThO <sub>2</sub> )	Červená
<b>WT30</b>	Thorium 3 % (ThO <sub>2</sub> )	Fialová
<b>WT40</b>	Thorium 4 % (ThO <sub>2</sub> )	Oranžová
<b>WC20</b>	Cerium 2 % (CeO <sub>2</sub> )	Šedá
<b>WL10</b>	Lanthan 1 % (LaO <sub>2</sub> )	Černá
<b>WL15</b>	Lanthan 1,5 % (LaO <sub>2</sub> )	Zlatá
<b>WL20</b>	Lanthan 2 % (LaO <sub>2</sub> )	Modrá
<b>WZ08</b>	Zirkon 0,8 % (ZrO <sub>2</sub> )	Bílá
<b>E3</b>	Vzácné zeminy	Fialová

Označování elektrod se řídí několika pravidly. První písmeno W odpovídá wolframu, jakožto základnímu prvku. Druhé písmeno poté značí přidaný oxid (T, Z, L) nebo pouze čistý wolfram (P - pure, tedy čistý). Číslo na konci označení odpovídá desetinásobku procentuálního obsahu legury. Každá elektroda je na jednom konci označena barevným páskem (minimálně 3 mm široký, obr. 39) Každá elektroda se hodí pro jiné užití, základní typy jsou popsány níže:

- WP – čistá wolframová elektroda. Je vhodná pro svařování hliníku a hořčíku za použití střídavého proudu. Pro svařování stejnosměrným proudem se příliš nehodí. Vyniká stabilním obloukem a nižší cenou oproti legovaným elektrodám.
- WT – legovaná thoriem. S rostoucím obsahem thoria se zlepšují vlastnosti jako jsou trvanlivost, zapalování či proudová zátěž. Elektroda pracuje za teplot hluboko pod svou teplotou tání, čímž je dána její zvýšená trvanlivost. Oproti jiným typům dochází k menší kontaminaci svarové lázně wolframem. Využívají se převážně svařování vysoce legovaných a nerezových ocelí stejnosměrným proudem. Mohou však být použity i pro svařování střídavým proudem. I přesto, že má tento typ značné výhody, od jeho používání se upouští, neboť se thorium řadí mezi radioaktivní prvky. Záření gamma je zde zanedbatelné, záření alfa však již nikoli a může způsobit vážné zdravotní potíže (částice se usazují v plicích), je nutno pracoviště dobře odsávat. Při použití je proto třeba brát velký důraz na bezpečnost práce.
- WC – legovaná cerem. Má velmi univerzální použití, lze použít pro oba typy proudů. Lze svařovat legované i nelegované oceli, titan, hořčík, hliník či nikl. Nejeftektivnější jsou při nízkých proudových zátěžích. Stejně jako thoriové elektrody vykazují dobrou trvanlivost a zapalovací schopnost.



Obr. 39 Barevné značení elektrod [83]

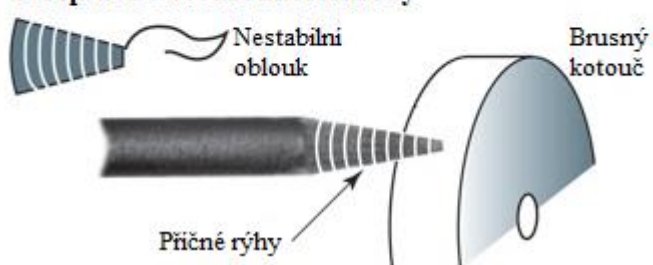
- WL – legovaná lanthanem. Podobně jako cérové jsou velmi univerzální, tedy lze svařovat stejnosměrným i střídavým proudem. Mají vynikající vlastnosti, se zvyšujícím se obsahem lanthanu se usnadňuje zapalování oblouku a mají dlouhou životnost. Zejména v oblasti nízkých proudů jsou velmi efektivní (využití pro mikroplazmové svařování). Nejsou navíc radioaktivní a v budoucnu nahradí thoriové elektrody.
- WR – legovaná zirkonem. Jsou vhodné pro svařování lehkých kovů při použití střídavého proudu. Použití stejnosměrného proudu se nedoporučuje. Zirkonium potlačuje tvorbu wolframových vměstků ve svarové lázni a nedochází ke kontaminaci, často nahrazují WP elektrody.
- E3 – legované vzácnými zeminami. Elektroda je bezthoriová, a tím pádem neradioaktivní. Dosahují vyšší životnosti než thoriové, je možno použít vyšší proudy pro stejný průměr elektrody. Díky velmi dobrým zapalovacím vlastnostem se hodí pro automatizované svařování. Použitelné pro legované i nelegované oceli, lehké kovy, a to jak při střídavém, tak při stejnosměrném proudu.

Pro správné použití elektrod je kromě výběru vhodného typu potřeba elektrodu správně nabrousit (ručně nebo na speciální brusce). Elektrodu brousíme na opačném konci, než je barevný pásek. Hroty je potřeba brousit, aby nedošlo k jejich proudovému přetížení a případnému odtavení. Při broušení je potřeba dodržet několik zásad. Ostření by mělo probíhat v axiálním směru, tedy kotouč se pohybuje proti směru elektrody (viz obrázek 40). Povrch musí být čistý, bez trhlín, otřepů či rýh. Dále je potřeba, aby byla elektroda správně vycentrována a špička byla opravdu v ose. Pokud by tomu tak nebylo, vznikala by nestabilní oblouk a snížila by se i životnost elektrody.

#### Správné broušení elektrody



#### Nesprávné broušení elektrody



Obr. 40 Broušení elektrody [86]

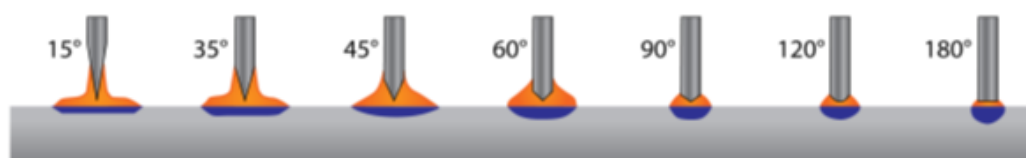
Zejména u automatického svařování, kdy je elektroda pevně upnuta na střed svaru, je pak energie nesprávně přenášena mimo střed. Výsledná drsnost povrchu se rovněž promítne na životnosti, volíme proto jemný brusný kotouč, aby byla drsnost co nejmenší.

Tabulka 13 Doporučené vrcholové úhly elektrody podle použitého svařovacího proudu [64]

Svařovací proud	Vrcholový úhel
Do 20 A	30°
20 – 100 A	60° – 90°
100 – 200 A	90° – 120°
Nad 200 A	120°

Na výslednou kvalitu a tvar svaru (obrázek 41) má velký vliv úhel špičky. Udává se, že špička by měla mít délku odpovídající 1 až 1,5násobku jejího průměru. V případě svařování střídavým proudem je špička broušena do tupého

konce a při použití stejnosměrného proudu do tvaru kužele. Vrcholový úhel pak závisí na velikosti použitého proudu. Doporučené hodnoty ukazují tabulka 13.



Obr. 41 Tvar svarové lázně v závislosti na úhlu špičky [86]

## 4.5 Ochranné plyny [62, 63, 64, 68, 87, 88]

Ochranné plyny se využívají pro izolaci netavící se elektrody a svarové lázně od okolní atmosféry. Dochází tak k jejich ochraně a zabránění chemickým reakcím jako například oxidaci. Mimo to také podporují zapálení elektrického oblouku, jeho následnou stabilitu a tepelný výkon během celého svařovacího procesu. Druh plynu ovlivňuje také tvar a rozměr svaru, případně jeho povrchovou kvalitu. V současnosti se využívá buďto pouze čistých plynů, nebo jejich směsí. Patří mezi ně zejména tyto:

- Argon – jednoatomový inertní plyn (netvoří tedy žádné sloučeniny) bez barvy, chuti či zápachu. Hustota je asi 1,4krát vyšší než u vzduchu. Argon je součástí vzduchu, konkrétně v zastoupení 0,934 %. Získává se destilací zkapalněného vzduchu, přičemž jeho teplota varu je 185,5 °C (za atmosférického tlaku). Je charakteristický nízkou tepelnou vodivostí a také nízkým ionizačním potenciálem (15,8 eV). Díky tomu dochází k snadnému zapálení oblouku a při hoření je následně velmi stabilní. Argon obsahuje i nečistoty v podobě dusíku, kyslíku nebo vlhkosti. Dle požadavků se dodává v různých stupních čistoty. Dnes nejběžněji používaný je o čistotě Ar 99,996 označovaný jako Ar 4.6. Označení je dle normy ČSN EN ISO 14175. Argon je využíván pro všechny typy svařitelných materiálů. Tlakové lahve jsou tmavě zelené (obr. 42)
- Helium – rovněž patří mezi inertní plyny. Jedná se také o plyn bez barvy, chuti nebo zápachu. Je lehčí než vzduch, což zhoršuje jeho efektivitu a pro dokonalou ochranu se vyžaduje vyšší průtok. Vyrábí se destilací ze vzduchu, případně separací z určitých druhů zemního plynu. Oproti argonu má vyšší tepelnou vodivost, ale i ionizační potenciál (24,6 eV). Oblouk se proto hůře zapaluje, má horší stabilitu a hoří neklidně. Standardně se dodává s čistotou 99,996 %, značka He 4.6. Helium se využívá zejména pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, jako je hliník či měď a jejich slitiny. Barva tlakové lahve je hnědá (obr. 42).
- Směs argonu a helia – v této kombinaci dojde ke spojení výhodných vlastností obou plynů. S rostoucím obsahem helia se zvyšuje tepelný výkon elektrického oblouku a napětí na něm. Nejčastěji se využívá směsí 70 % Ar + 30 % He, 50 % Ar + 50 % He, 30 % Ar + 70 % He. Použití je vhodné zejména pro kovy s vysokou tepelnou vodivostí (hliník a měď), případně materiály o větších tloušťkách.
- Směs argonu a vodíku – vodík je charakteristický vysokou teplotní vodivostí, díky tomu se zlepšuje energetická bilance oblouku. Směs má obdobné vlastnosti jako argon s heliem, nicméně vodík se přidává v rozmezí 5 až 10 %. Vodík redukuje oxidy z povrchu svaru a je tak zaručena vyšší čistota, dále zvyšuje rychlost svařování (až o 50 %) a zvyšuje hloubku závaru. Nesmí se používat pro vysoce legované feritické či martenzitické oceli, kde by způsobil praskavost a pro hliník s mědí, kde způsobuje pórovitost. Využívá se pouze pro vysoce legované austenitické, případně austeniticko-feritické oceli.
- Směs argonu s dusíkem – dusík je dvouatomový plyn, bez barvy, chuti nebo zápachu. Jeho zvýšená tepelná vodivost umožňuje přenášet do svarové lázně více tepla. Obvykle se do směsi přidává v 10% zastoupení. Používá se pro měď a její slitiny.



Obr. 42 Barevné značení tlakových lahví [88]

#### 4.6 Příkladné materiály [62, 64, 68, 89, 90]

Příkladný materiál se vybírá dle chemického složení svařovaného materiálu, jeho mechanických vlastností a s ohledem na požadované vlastnosti svařového spoje a jeho typ. Předpokladem pro výběr je skutečnost, že přídatný materiál by měl mít stejné, ideálně lepší vlastnosti. To platí zejména pro dynamicky namáhané dílce, kdy by svařový spoj měl mít o řadu vyšší pevnost nežli základní materiál.

Příkladný materiál při svařování metodou TIG plní několik funkcí:

- doplnit objem svařového kovu a vytvořit tedy požadovaný typ svaru,
- legovat svařový spoj, které zlepši jeho mechanické vlastnosti,
- dodat prvky, které zajistí desoxidaci a odplynění svaru a příznivě ovlivní probíhající metalurgické děje,
- umožnit lepší formování svaru, smáčivost svařových ploch a zlepšit operativnost při svařování v polohách.

Podle provedení dělíme přídatné materiály na svařovací tyčky, které jsou určeny pro ruční svařování a svařovací dráty pro automatické či poloautomatické svařování:

- Svařovací tyčky – dráty s kruhovým průřezem. Dodávají se v průměrech od 1 do 8 mm a celkové délce 600 až 1000 mm (obr.43). Tyčky jsou vyráběny s plným průřezem, případně i jako plněné trubičky (plněné například karbidickými částicemi pro navařování). Aby nedošlo k degradaci je potřeba uskladňovat materiál v suchu.
- Svařovací dráty – dráty jsou určeny k mechanizovanému svařování a jsou navinuty na cívkách, které jsou umístěny ve svařovacím zařízení (obr. 44). Obvykle se dodávají v průměrech od 0,6 do 2,4 mm, v případě navařování až 5 mm. V případě použití drátu z hliníku nebo mědi (případně jejich slitin) je třeba, aby bylo dosaženo středního stupně tvrdosti po deformačním zpevnění a měly tak dostatečnou tuhost pro dopravení podavačem do místa svaru.

Pro značení přídatného materiálu má každý výrobce svůj vlastní systém, například u nás je to ESAB Vamberk (např. OK Tigrod 308L – drát pro svařování korozivzdorné oceli). Firemní značka však bývá doplněna i označením dle příslušné platné normy. Tyče a dráty pro svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí se klasifikují dle ČSN EN ISO 636. Pro korozivzdorné oceli je to pak norma ČSN EN ISO 14343.



Obr. 43 Svařovací drát od firmy Esab [89]



Obr. 44 Drát na cívce od firmy Böhler [90]

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST [7]

V rámci experimentu došlo k analýze výrobního procesu (tedy svařování a následného moření) součásti označované jako sprchovadlo. Jak je již v úvodu řečeno, na součásti jsou problematické závity M8, u kterých dojde k úbytku materiálu, a tedy jejich znehodnocení během mořící operace.

Materiál přípevňovací části trysky a trysky samotné je X2CrNiMo17-12-2 dle ČSN EN. V úvodu je zmíněno, že materiály pochází od různých dodavatelů, následující tabulka číslo 14 zobrazuje porovnání chemického složení jednotlivých dodavatelů a složení, které je předepsáno normou ČSN EN 10088. Dodavatel číslo 1 (přípevňovací část trysky) je firma Marcegaglia specialties z Itálie. Dodavatel číslo 2 (tryska) je firma Cantravis production z Ukrajiny.

Tabulka 14 Porovnání chemického složení ocelí X2CrNiMo17-12-2

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
Chemické složení	≤ 0,03	≤ 1	≤ 2	max. 0,045	max. 0,030	16,50-18,50	10 - 13	2 - 2,5	≤ 0,11
Dodavatel 1	0,023	0,34	1,23	0,037	0,02	16,97	10,09	2,06	0,0248
Dodavatel 2	0,018	0,40	1,13	0,039	0,005	17,01	10,26	2,07	0,024

Tělo sprchovadla je pak vyrobeno z oceli X2CrNi18-9 dle ČSN EN. Tabulka číslo 15 zobrazuje chemické složení této oceli od dodavatele Marcegaglia specialties a jeho porovnání s normou ČSN EN 10088.

Tabulka 15 Porovnání chemického složení oceli X2CrNi18-9

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
Chemické složení	≤ 0,03	≤ 1	≤ 2	max. 0,045	max. 0,030	17,50-19,50	8 - 10	2 - 2,5	≤ 0,11
Dodavatel 1	0,023	0,407	1,306	0,0154	0,0117	18,196	8,098	2,06	0,0355

Ocel X2CrNiMo17-12-2 patří mezi austenitické korozivzdorné oceli. Ocel se vyznačuje sníženým obsahem uhlíku a kromě základních legujících prvků (chrom a nikl) obsahuje navíc molybden. Je vysoce odolná vůči organickým a anorganickým kyselinám (za předpokladu nižších koncentrací). Zvýšené odolnosti dosahuje také proti všem typů koroze. Ocel je dobře svařitelná a lešitelná. Svě antikorozní vlastnosti si zachovává i po svařování. Při tvářecích operacích (lisování, ohýbání či tažení) ocel vykazuje dobré mechanické vlastnosti. Využití nachází v potravinářském, chemickém, ropném či stavebním průmyslu.

Ocel X2CrNi18-9 se řadí rovněž do skupiny austenitických korozivzdorných ocelí. Ve struktuře je extrémně nízký obsah uhlíku, díky čemuž se dosáhne zvýšené odolnosti vůči mezikrystalové korozi. Stejně jako předešlá ocel, je i tato dobře svařitelná a lešitelná, je také vhodná pro tvářecí (ohýbání, lisování atd.). Využívá se v chemickém, potravinářském či farmaceutickém průmyslu.

V počátcích byl celý svařenec vyráběn z materiálu X2CrNi18-9, nicméně po problému s mizením závitu došlo k jeho nahrazení za odolnější X2CrNiMo17-12-2. Avšak, dle ústního sdělení vedoucího výroby fy. IN-EKO, byl i u tohoto materiálu výsledek totožný. Docházelo k mizení závitu.

## 5.1 Svařování sprchovadla [64, 91]

Prvním krokem zpracování experimentu bylo svaření sprchovadla ve firmě IN-EKO team s.r.o., která sídlí v Tišnově. Pro potřeby experimentu bylo svařeno jedno sprchovadlo s celkem šesti tryskami. Za normálních okolností je sprchovadlo této velikosti (firma vyrábí více velikostí) tvořeno osmi, nicméně pro zmapování svařovacího postupu postačí šest.

Svařování je prováděno metodou TIG v ochranné atmosféře argonu. Výroba probíhá ve dvou fázích. Nejprve dojde ke svaření trysky spolu s přípevňovací částí. Nejprve je však potřeba součásti tzv. nastehovat („nabodovat“) k sobě (obr. 45). Jelikož se jedná o velmi malé



Obr. 45 Trubička po nastehování k přípevňovací části

součásti, které do sebe navíc zapadnou, není při svaření použito přídavného materiálu. V druhé fázi dojde k nastehování a následně přivaření již vyrobeného svařence k hlavní trubce, tedy tělu sprchovadla (obr. 46). V tomto případě je již použit přídavný drát.



Obr. 46 Stehování trubičky na tělo sprchovadla

Konkrétně jde o RW 316 L Si-TIG (W 19 12 3 L Si dle EN ISO 14343-A) o průměru 1,6 mm. Chemické složení drátu dle atestu (příloha 6) je v tabulce číslo 16.

Tabulka 16 Chemické složení přídavného drátu RW 316 L Si-TIG v %

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
Chemické složení	0,016	0,936	1,507	0,014	0,0150	18,325	12,220	2,653	0,0460

Pro svařování byl použit invertorový zdroj od firmy Migatronik, konkrétně typ Focus TIG 160 DC HP PFC. Jedná se o nejmenší svařovací zdroj (fy. Migatronik), který disponuje DC TIG pulzním režimem. Zapálení oblouku lze jak vysokofrekvenčně (HF) nebo dotykem (LIFT). Základní informace o zdroji shrnuje následující tabulka číslo 17.

Tabulka 17 Vlastnosti zdroje Focus TIG 160 DC HP PFC

Síťové napětí	1x230 V (-40/10 %)
Proudový rozsah	20-160 A
Napětí naprázdno	70 V
Hmotnost	7,8 kg
Rozměry (V x Š x D)	22 x 15 x 37 cm

Jako wolframová elektroda byla použita cerová, přesněji typ WC20 o průměru 2 mm a délce 175 mm. Ochranným plynem byl argon o čistotě 4.6 a průtoku 13 l/min. Celé svařovací pracoviště lze vidět na obrázku číslo 47. Celkové shrnutí svařovacího procesu zobrazuje následující tabulka číslo 18.



Obr. 47 Svařovací pracoviště

Tabulka 18 Parametry svařování sprchovadla

Svařovací metoda	TIG
Svařovací poloha	Vodorovná šikmo shora (PB)
Typ svaru	Koutový
Svařovací zdroj	Migatronik Focus TIG 160 DC HP PFC
Ochranný plyn	Argon 4.6 (čistota 99,996 %)
Spotřeba plynu	13 l/min
Použitá elektroda	WC 20 (průměr 2 mm)
Použitý přídavný materiál	RW 316 L Si-TIG (průměr 1,6 mm)
Základní materiál	X2CrNiMo17-12-2 a X2CrNi18-9

Pro kompletní analýzu procesu svařování je třeba spočítat vnesené teplo do svaru, tedy tepelný příkon. Ten se vypočítá dle vzorce níže:

$$Q = \frac{\eta \cdot U_s \cdot I_s}{v_s \cdot 1000} [kJ \cdot mm^{-1}] \quad (5.1)$$

kde:  $U_s$  – svařovací napětí [V]

$I_s$  – svařovací proud [A]

$v_s$  – svařovací rychlost [ $mm \cdot s^{-1}$ ]

$\eta$  – účinnost zvolené metody

Během svařování byly sledovány dva parametry: svařovací proud a čas. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce číslo 19. Z nich je potřeba vypočítat svařovací napětí a rychlost svařování.

Tabulka 19 Naměřené hodnoty při svařování

Svařování trubičky a připevňovací části (1. fáze)		Svařování trubičky s tělem sprchovadla (2. fáze)	
Čas (s)	Proud (A)	Čas (s)	Proud (A)
13	24	14,48	30
13,69	24	14,11	30
14,20	24	15,6	30
13,97	24	14,5	30
13,75	24	14,47	30
14,57	24	14,25	30

Jelikož svařovací invertor neukazoval hodnotu napětí, je třeba jej dopočítat dle vzorce pro normalizované napětí na oblouku, který vypadá následovně:

$$U_s = 20 + 0,04 \cdot I_s \quad (5.2)$$

$$U_s = 20 + 0,04 \cdot 24 = 20,96 \text{ V [1. fáze]}$$

$$U_s = 20 + 0,04 \cdot 30 = 21,20 \text{ V [2. fáze]}$$

kde:  $U_s$  – svařovací napětí [V]

$I_s$  – svařovací proud [A]

Pro výpočet svařovací rychlosti je nutné znát délku svaru, v případě svařování sprchovadla se v obou fázích jedná obvod kruhu, vzorec tedy vypadá následovně:

$$l = 2\pi \cdot r \quad (5.3)$$

$$l = 2\pi \cdot 3 = 18,85 \text{ mm [stejně pro obě fáze]}$$

kde:  $r$  – poloměr trysky [mm]

Nyní jsou známy všechny neznámé pro výpočet rychlosti svařování a následně i vneseného tepla do svaru. Svařovací rychlost se vypočte dle následujícího vztahu:

$$v_s = \frac{l}{t} [mm \cdot s^{-1}] \quad (5.4)$$

$$v_s = \frac{18,85}{13} = 1,45 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \text{ [1. hodnota pro 1. fázi]}$$

$$v_s = \frac{18,85}{14,48} = 1,30 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} \text{ [1. hodnota pro 2. fázi]}$$

kde:  $v_s$  – svařovací rychlost [ $mm \cdot s^{-1}$ ]

$l$  – průměrná délka housenky [mm]

$t$  – doba svařování [s]

Všechny vypočtené hodnoty svařovacích rychlostí shrnuje tabulka číslo 20.  
 Tabulka 20 Vypočítané hodnoty rychlosti svařování

	Svařovací rychlost (mm/s)					
1. fáze	1,45	1,38	1,33	1,35	1,37	1,29
2. fáze	1,30	1,36	1,21	1,30	1,30	1,32

Výpočet tepla dodaného do svaru je pak dle vzorce 5.1:

$$Q = \frac{0,65 \cdot 20,96 \cdot 24}{1,45 \cdot 1000} = 0,226 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ [1. hodnota pro 1. fázi]}$$

$$Q = \frac{0,65 \cdot 21,20 \cdot 30}{1,30 \cdot 1000} = 0,318 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ [1. hodnota pro 2. fázi]}$$

Následující tabulka číslo 21 shrnuje všechny vypočtené hodnoty vneseného tepla.

Tabulka 21 Vypočítané hodnoty vneseného tepla

	Teplu vnesené do svaru (kJ/mm)					
1. fáze	0,226	0,237	0,246	0,242	0,239	0,253
2. fáze	0,318	0,304	0,341	0,318	0,318	0,313

Jako jedna z možných hypotéz mizení závitu se jevila chyba ve svařovacím procesu. Zejména tedy dodání velkého množství tepla, které by zapříčinilo vypálení chromu ze struktury, čímž by následně materiál pozbyl své korozivzdornosti při moření. Dále přicházel v úvahu nevhodný přídavný materiál, nicméně přípevnovací část je svařována bez přídavného materiálu a na přivaření k tělu sprchovadla byl použit vhodný přídavný drát. Po svaření byly rovněž vyhodnoceny náběhové barvy, které se dají považovat za indikátor správnosti svaření. Platí, že čím je barva tmavší, tím je vzniklá struktura oxidů silnější. Na obrázku číslo 48 můžeme vidět sprchovadlo po svaření.



Obr. 48 Svařené sprchovadlo

Na obrázku 49 a 50 lze vidět náběhové barvy u obou svarů a celkové zabarvení vzniklých vrstev oxidů.



Obr. 49 Detail obou svarů a náběhových barev

Náběhové barvy nedosahují kritických odstínů, které by naznačovaly, že bylo svařování provedeno s vysokým příkonem a došlo k vypálení legur, zejména pak chromu. Vypálením je myšlena precipitace karbidů chromu a odčerpání chromu z tuhého roztoku. Nicméně vrstva oxidů svým zabarvením dokazuje, že svar byl značně zoxidován.



Obr. 50 Detail kritické části svařence

## 5.2 Moření sprchovadla

Po svaření sprchovadla ve firmě IN-EKO následovalo moření v FK systému. Pro moření je stanoven technologický postup (příloha číslo 7). Postup s jednotlivými operacemi shrnuje tabulka číslo 22 níže.

Tabulka 22 technologický postup moření

Standardní technologický postup	
<b>Odmaštění</b>	Dle potřeby (přípravek Aquaclean A125)
<b>Oplach</b>	Dle potřeby (obyčejná voda)
<b>Moření</b>	Lázeň austenit 10-15 min. Lázeň austenit: Složení cca 15% HNO <sub>3</sub> a 3% HF. Vhodná k moření austenitických ocelí a slitin hliníku. Lázeň používaná pro moření ve velkých mořicích vanách.
<b>Oplach</b>	Demivoda
<b>Pasivace</b>	Klasická pasivace minimálně 15 min. Složení lázně cca 25% HNO <sub>3</sub> Obchodní označení Antox 90E. Pasivace dle normy EN 2516 – třída C2. Vhodná na pasivaci austenitických ocelí.
<b>Oplach</b>	Demivoda

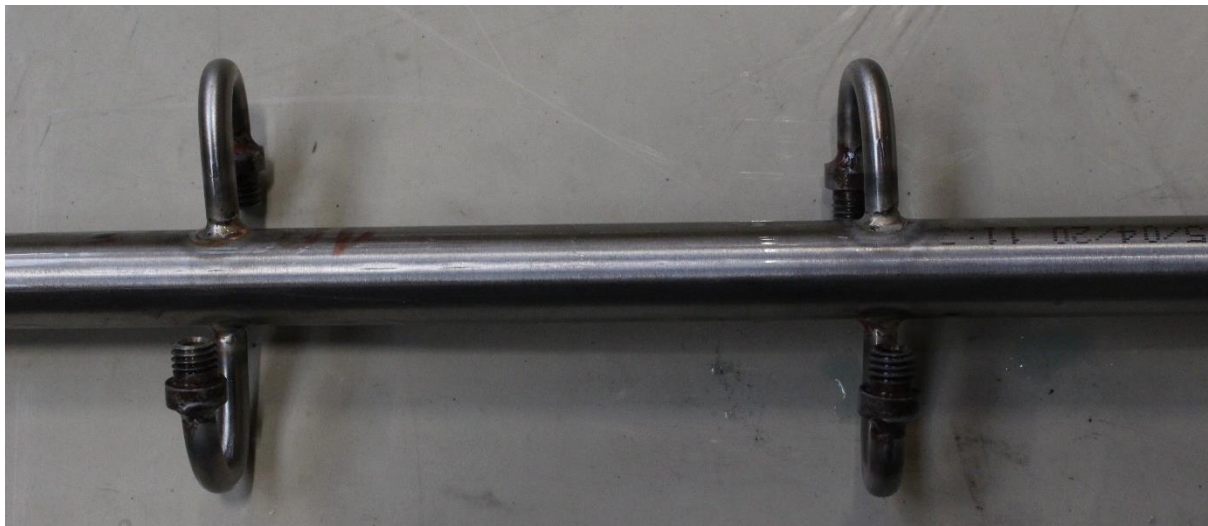
Sprchovadlo bylo nejprve odmaštěno a následně opláchnuto v obyčejné (kohoutkové) vodě. Moření proběhlo v jedné z menších van (obrázek 51) v lázni pro austenitické oceli při



Obr. 51 Mořicí vana

teplotě 22 °C. Po 15 minutách bylo sprchovadlo vytaženo z lázně a opláchnuto v demivodě, tedy demineralizované vodě. Oxidické vrstvy byly mořením odstraněny a je proto potřeba, aby součást získala znovu své korozivzdorné schopnosti. Na jejím povrchu se musí proto vytvořit ochranná vrstva oxidů chromu. Součást se pasivuje sama na vzduchu (tzv. autopasivace), pro zrychlení procesu se však využívá kyselina dusičná, do které je součást ponořena a celý proces tvorby vrstvy je tak urychlen. Během pasivace na rozdíl od moření však nedochází k žádnému úbytku materiálu. Sprchovadlo bylo pasivováno po dobu 15 minut a následně opět opláchnuto tlakovou demivodou.

Na obrázku 52 lze vidět součást bezprostředně po vytažení z lázně. Na první pohled si lze všimnout, že náběhové barvy, zvláště ty světlejší, zmizely. V detailnějším pohledu (obrázek 53) však lze pozorovat určité zbytky oxidické vrstvy. Zejména se jedná o okolí



Obr. 52 Sprchovadlo po moření

problematického svaru na přípevňovací součásti, kde je stále viditelná poměrně velká vrstva. Tato vrstva však byla z velké části odstraněna následným oplachem tlakovou vodou.

Detail sprchovadla po pasivaci (obrázek 54) ukazuje, že oxidační vrstvy v podstatě téměř zmizely a součást je nyní kovově lesklá a v místech svarů až matně stříbrná. Dle ústního sdělení technika FK systému, se však výsledný povrch nedá považovat za dokonalý a lze vidět určité stopy oxidů a náběhových barev, stejně tak by matnost povrchu neměla být tolik výrazná. Zde je třeba zmínit, že první dávky, u kterých se objevil problém s mizením závitu, se mořily přes noc ve velkých mořicích vanách spolu s dalšími (většími) součástmi. Po problémech byl pracovní postup zkrácen na zmíněných 15 minut moření a stejnou dobu (případně delší) pasivace. Po tomto zjištění se nabízí otázka, zda by problém se závity nemohl být spíše v době moření nežli ve špatném svařovacím postupu. Při kratší době moření sice nedojde k úbytku materiálu na závitu, výsledný povrch však není uspokojivý. Z toho je patrné, že doba je naopak příliš krátká.

Proto bude proveden experiment, kdy budou části sprchovadla mořeny v různých časech a následně pasivovány. Poté dojde k vizuálnímu posouzení kvality. Navíc budou jednotlivé části zváženy na analytických vahách před a po moření, aby bylo možno zjistit průběh úběru materiálu v závislosti na čase.



Obr. 53 Detail závitu po moření



Obr. 54 Sprchovadlo po pasivaci

### 5.3 Makrostruktura svaru [92, 93]

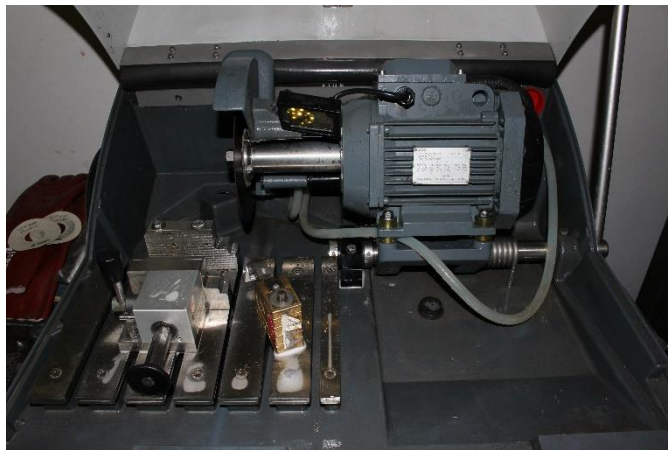
Pro kompletní analýzu svařovacího procesu byly po moření provedeny výbrusy pro studium makrostruktury svarů. Sprchovadlo bylo rozřezáno na metalografické pile Struers Labotom 5 (obrázek 55), která se nachází ve školní svařovně ústavu. Pila je opatřena vodním chlazením, aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění materiálu. Jelikož budou vzorky zalisovány do tablet, je třeba, aby měl vzorek rozměry maximálně 30 x 30 mm.

Po nařezání byly vzorky zalisovány do tablet na přístroji od firmy Metkon, typ Ecopress 100 (obrázek 56). Součást se umístí do válce přístroje, následně se zasype speciálním práškem a poté za působení tlaku a teploty dojde k vytvoření tablety. Celý proces trvá zhruba 15 minut, přičemž přístroj je schopen vyrábět pouze jednu tabletu. Pro výrobu vzorků byly náhodně zvoleny tři kusy připevňovací části sprchovadla, kde se nachází problematický závit.

Dalším krokem v přípravě metalografického výbrusu svaru je broušení a případně leštění. K broušení byl využit přístroj od Struers, konkrétně LaboPol-5 (obrázek 57). Bruska je vybavena unašečem, díky kterému je možné brousit až tři vzorky najednou. Broušení probíhalo při 300 ot/min po dobu 5 minut. Během procesu jsou vzorky chlazeny vodou, která rovněž odplavuje vzniklé částičky. Drsnost papíru byla v následujícím pořadí: 120, 600 a na závěr 1200.

Závěrečným krokem celého procesu je naleptání vzorků kyselinou pro zviditelnění svaru. Použité leptadlo nese označení Marble, jedná se o směs pentahydrátu síranu měďnatého s kyselinou chlorovodíkovou.

Po naleptání se vzorky umístily pod světelný mikroskop zvětšení 53x. Za použití programu Dino pak byly vyhotoveny jednotlivé snímky, ty lze vidět na následující straně.



Obr. 55 Struers Labotom 5



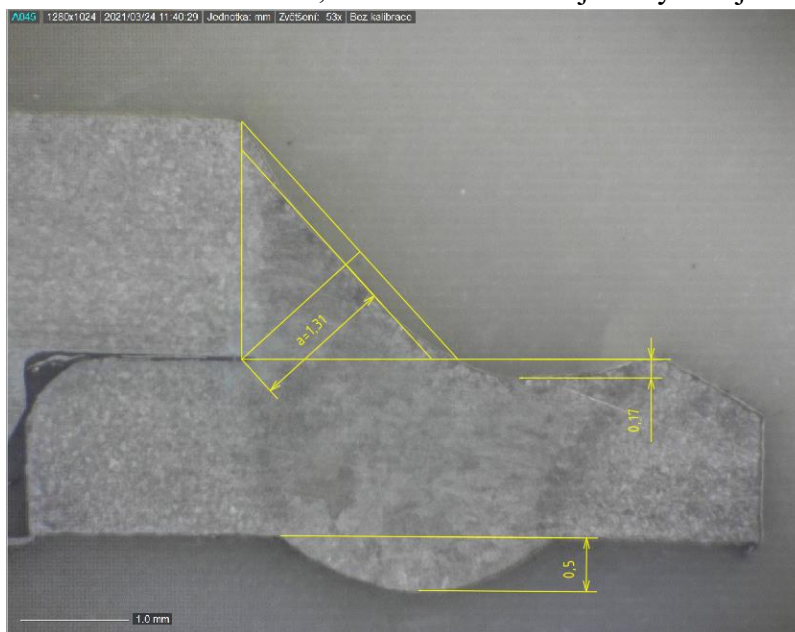
Obr. 56 Metkon Ecopress 100



Obr. 57 Struers LaboPol-5

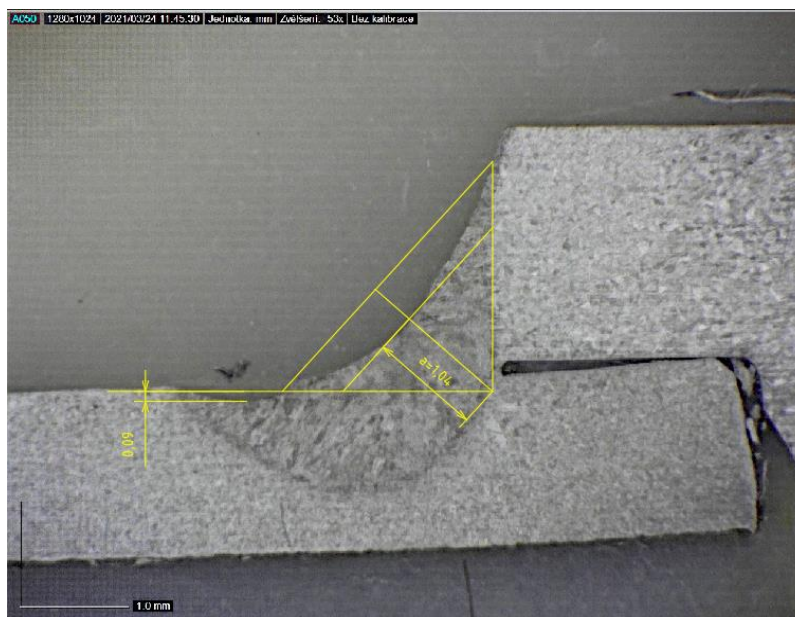
Celkem byly vyhotoveny 4 vzorky. Tři vzorky byly odebrány v místě svaření přípevňovací části a trysky, jeden byl pak odebrán v místě svaření trysky a těla sprchovadla (hlavní trubka). Vzorky byly hodnoceny na makrostrukturu svaru dle normy ČSN EN ISO 5817 Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality. Na zkoumanou součást nejsou kladeny zvýšené provozní nároky, proto byly vzorky hodnoceny dle stupně kvality C.

U vzorku č. 1 (obr. 58) byla naměřená velikost koutového svaru postačující vzhledem k předepsanému rozměru. Na vzorku se objevilo také nadměrné převýšení kořene svaru, velikost je však stále v normě. Jako nevyhovující však byla vyhodnocena velikost zápalu, ten může dosahovat na vzorku maximálně 0,15 mm. Vzorek č.1 je nevyhovující.



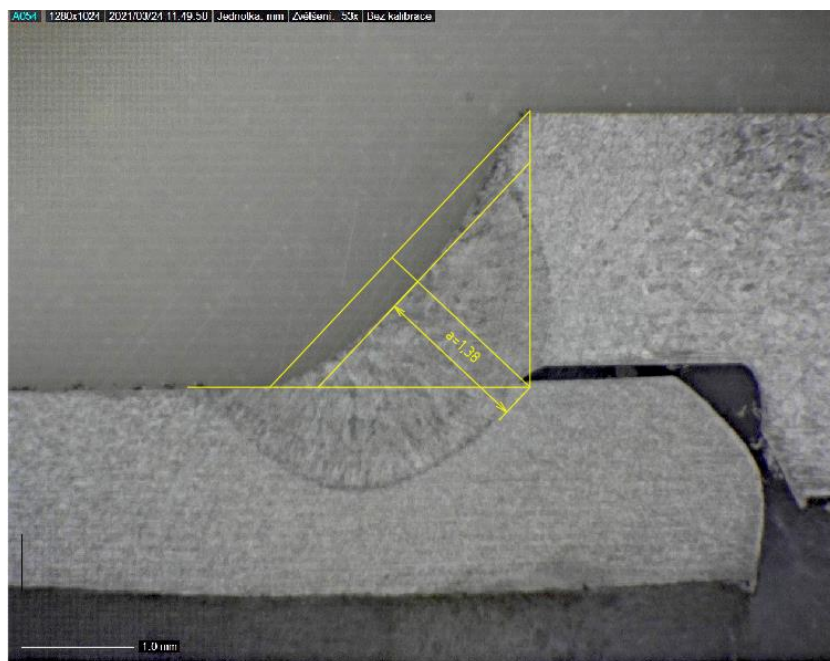
Obr. 58 Vzorek č. 1 - nevyhovující

Velikost koutového svaru u vzorku č. 2 (obr. 59) byla sice téměř na limitní hranici, předešané na výkresu (velikost a1), nicméně velikost je stále dostatečná. Na vzorku byl opět pozorován zápal, tentokrát je však jeho velikost dle normy vyhovující. Vzorek č. 2 vyhovuje.



Obr. 59 Vzorek č. 2 - vyhovující

Vzorek č.3 (obr. 60) měl rovněž, stejně jako předešlé, vyhovující velikost svaru. Struktura je bez zápalů a nedošlo ani k nadměrnému převýšení kořene svaru. Vzorek č.3 je vyhovující.



Obr. 60 Vzorek č. 3 - vyhovující

Poslední vzorek, tedy č.4 (obr. 61) byl odebrán z místa, kde je tryska přivařená k tělu sprchovadla. Ačkoli se nejedná o problematické místo z hlediska moření, v rámci analýzy celého svařence byl odebrán alespoň tento jeden vzorek. Na vzorku se objevuje neprůvar, který je vzhledem k své velikosti nepřipustný. Stejně tak pór, jehož velikost přesahuje normou stanovený limit, je tedy nevyhovující. Vzorek č. 4 je proto nevyhovující.



Obr. 61 Vzorek č.4 - nevyhovující

Zbývající fotky makrostruktur vzorků (druhá polovina svaru) včetně fotky zalisovaných tablet jsou uvedeny v příloze 8.

## 5.4 Vliv doby moření

V rámci experimentu firma IN-EKO poskytla další dvě sprchovadla, tentokrát kompletní a ve větším provedení. Na každém sprchovadle se nyní nachází 14 (obr.62) připevňovacích částí oproti 6 na prvním pokusném kusu. Každé sprchovadlo bylo následně rozřezáno na 7 jednotlivých segmentů, aby byl zajištěn dostatečný počet vzorků.



Obr. 62 Sprchovadla

Prvním krokem experimentu bylo zvážení každého segmentu na analytických vahách, a to s přesností na čtyři desetinná místa. Jelikož školní laboratoře, ani FK system vahami nedisponuje, bylo měření provedeno ve firmě Deza a.s., kde je zaměstnán můj otec. Zdejší chemická laboratoř je plně vybavena a disponuje požadovanými vahami (obr.63). Díky vážení vzorků před a po moření, bude možné porovnat, zda od určité doby nenastane zvýšený úběr materiálu, který by mohl být příčinou zmizelých závitů. Rovněž bude cílem určení optimální doby moření z hlediska výsledné kvality povrchu.



Obr. 63 Analytické váhy

Vzorky byly zváženy s přesností na 4 desetinná místa. Při takovéto přesnosti je měření ovlivňováno mnoha faktory, např. proudícím vzduchem nebo prudším pohybem v blízkosti vah. Váhy tak při identické součásti nemusí naměřit totožný výsledek při opětovném zvážení. Z tohoto důvodu byl každý vzorek převážen třikrát a finální váha se získala zprůměrováním těchto hodnot. Následující tabulky (číslo 23 a 24) zobrazují naměřené hodnoty jednotlivých segmentů před mořením.

Tabulka 23 Váhy A skupiny vzorků před mořením

Vzorek	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
Váha (g)	76,6782	77,4206	76,1079	76,5016	76,1672	74,5281	124,2591
	76,6775	77,4204	76,1083	76,5015	76,1672	74,5278	124,2589
	76,6776	77,4202	76,1080	76,5011	76,1670	74,5275	124,2580
Průměr (g)	76,6778	77,4204	76,1081	76,5014	76,1671	74,5278	124,2587

Tabulka 24 Váhy B skupiny vzorků před mořením

Vzorek	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B
Váha (g)	76,8438	76,9942	73,3839	75,3294	76,4339	78,0212	125,2212
	76,8441	76,9946	73,3836	75,3293	76,4337	78,0212	125,2209
	76,8436	76,9943	73,3837	75,3291	76,4338	78,0207	125,2210
Průměr (g)	76,8438	76,9944	73,3837	75,3293	76,4338	78,0210	125,2210

Po zvážení následovalo moření v FK systému. Součásti nyní nebyly mořeny ve vanách v hlavní hale firmy, ale v laboratoři. Před začátkem byl na každý vzorek připevněn provázek se zalaminovaným číslem pro snadnou identifikaci. Moření probíhalo dle stejného technologického postupu jako v případě prvního zkušebního sprchovadla. Nejprve tedy proběhlo odmaštění pomocí přípravku Aquaclean (obr 64).



Obr. 64 Odmaštění vzorků

Po odmaštění všech součástí došlo k jejich opláchnutí demivodou a následně byly vloženy do mořicí lázně. Moření probíhalo při teplotě okolí, tedy 20 °C (obr 65). Jedná se sice o teplotu o dva stupně nižší, nežli je teplota lázně mořících van, nicméně dle ústního sdělení technika FK systému je rozdíl v moření do odchylky cirká tří stupňů nerozpoznatelný a nemá na finální výsledek vliv.



Obr. 65 Mořicí lázeň

Jak již bylo řečeno, podstatou pokusu je určit vhodný časový interval pro moření z hlediska vizuální stránky a dále zjistit, zda po delší době nedojde k razantnímu váhovému úbytku či odmoření závitů. Celkem 14 vzorků bylo rozděleno na dvě skupiny (A a B), kdy po každém vytyčeném intervalu byly z lázně vyjmuty vzorky obou skupin s příslušným číselným označením. Následující tabulka ukazuje dobu moření jednotlivých vzorků.

Tabulka 25 Intervaly moření

Vzorek	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B
Doba moření	15 min	30 min	1 hod	2 hod	4 hod	23 hod	29 hod

Interval začíná od doby 15 minut, což byl čas, který byl předepsán v upraveném technologickém postupu FK systému. Při starém postupu (mizení závitu) se součást mořila 17 hodin a déle. To odpovídá firemní praxi, kdy jedna směna součásti ponoří do van, ty se poté moří přes noc a druhá směna je během dopoledne vytahuje. Je běžné, že v případě masivních součástí se moří i dva dny, to však není případ sprchovadla. Nejvyšší interval, tedy 29 hodin, byl zvolen jako extrémní, neboť dle sdělení technika se součásti velikosti sprchovadla nemoří tak dlouho.

Po vytažení dílce z mořicí lázně následuje oplach v demivodě. Za normálních okolností probíhá oplach přímo na hale tlakovou demivodou. V laboratoři byl tento způsob nahrazen ručním omytím součásti za pomoci kartáčku na zkumavky.

Závěrečným krokem procesu je pak pasivace v přípravku Antox 90E, jedná se o 25% kyselinu dusičnou. Pasivování probíhalo po dobu 15 min, tento interval je určen dle normy ČSN EN 2516 (třída C).

Po moření všech vzorků a jejich pasivaci byla provedena vizuální kontrola s technikem FK systemu. Neoptimálnější byl povrch vzorků s číslem 5A a 5B, kterým odpovídá doba moření 4 hodiny. Fotky součástí před a po operaci jsou vidět níže. Uvedeny jsou pouze vzorky ze skupiny A. B skupina je uvedena v příloze číslo 9.



Obr. 66 Vzorek 1A

Vzorek 1A (obr. 66) byl mořen po dobu 15 minut. Z vizuálního hlediska je tento vzorek nevhodný, jsou stále dosti viditelné přechody mezi základním materiálem a místy, kde se nacházely oxidické vrstvy. V detailním pohledu je navíc patrné, že nedošlo k úplnému odstranění všech oxidů (obr 67). První vzorek se vzhledem k těmto faktům nedá považovat za dostatečně vymořený, doba moření je příliš krátká.



Obr. 67 Detail vzorku 1A

Vzorek 2A, viz obr. 68, byl mořen po dobu 30 minut. Stejně jako u předchozího vzorku je stále dosti patrný přechod mezi základním materiálem a místem výskytu oxidů. V okolí svarů se již nenacházelo tolik zbytkových oxidických vrstev, nicméně na několika místech nebyly zcela odmořeny. V celkovém měřítku se tento vzorek stále považuje za nevhodný.



Obr. 68 Vzorek 2A

Vzorek 3A (obr. 69) byl mořen po dobu 1 hodiny. Zbytky oxidů již nebyly okem viditelné, jako u předchozích dvou vzorků. Z tohoto hlediska by se součást dala považovat za vyhovující, nicméně rozhraní základní materiál a oblast výskytu oxidů je stále dosti viditelná. Z tohoto hlediska je součást nevyhovující a dle firemních předpisů by se považovala za nedomořenou.



Obr. 69 Vzorek 3A

Vzorek 4A (obr. 70) byl mořen po dobu 2 hodin. Na součásti již nebyly patrné žádné zbytky oxidů. Součást je z tohoto hlediska přijatelná. Přejechod mezi základním materiálem a oxidy ovlivněnou oblastí již není tolik patrný jako u předchozích vzorků. Dle sdělení technika se jedná o téměř vyhovující kus.



Obr. 70 Vzorek 4A

Vzorek 5A, viz obr. 71, byl mořen 4 hodiny. Na vzorku nejsou viditelné jakékoli zbytky oxidů a rozhraní mezi základním materiálem a místem, kde se nacházely oxidické vrstvy je téměř nerozeznatelné. Po konzultaci s technikem byl tento vzorek určen jako vyhovující, dosahuje takových vizuálních parametrů, jaké jsou od moření požadovány. Tedy kompletní odstranění oxidů a vizuální sjednocení součásti.



Obr. 71 Vzorek 5A

Vzorek 6A (obr. 72) byl do lázně umístěn na dobu 23 hodin. Jedná se tedy o dobu, která je v podstatě totožná s běžnou firemní praxí, tedy moření součástí přes noc. Na součásti nejsou patrné žádné zbytky oxidů. Součást však byla dle technika již částečně přemořena. Zejména v místě svarů na přípevňovací části si lze všimnout matné šedé struktury. V těchto místech už byl částečně napaden základní materiál. Součást proto nelze považovat za správně odmořenu.



Obr. 72 Vzorek 6A

Poslední vzorek 7A, viz obr. 73, byl mořen po 29 hodin. Tento čas je vzhledem k velikosti součásti extrémní. Součást je již od pohledu přemořena, materiál je na omak lehce drsný. Ve firemní terminologii se přemoření označuje jako „chlupatění“ (detail na obr. 74 na následující straně). Vzorek nelze považovat za správně odmořený.



Obr. 73 Vzorek 7A



Obr. 74 Detail vzorku 7A a viditelné napadení materiálu (zrnitost povrchu)

Po vizuálním zhodnocení vzorků po moření a pasivaci následovalo převážení vzorků. Měření proběhlo opět na analytických vahách v laboratoři firmy Deza a. s. Stejně jako při prvním měření i nyní byl každý vzorek převážen třikrát pro ověření reprodukovatelnosti. Následující dvě tabulky (číslo 26 a 27) zobrazují naměřené hodnoty.

Tabulka 26 Váhy A skupiny vzorků po moření

Vzorek	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
Hmotnost (g)	76,6334	77,3595	76,0180	76,3460	75,9417	74,1014	122,6850
	76,6332	77,3595	76,0178	76,3457	75,9419	74,1014	122,6845
	76,6330	77,3588	76,0182	76,3458	75,9416	74,1011	122,6847
Průměr (g)	76,6332	77,3591	76,0180	76,3458	75,9417	74,1013	122,6847

Tabulka 27 Váhy B skupiny vzorků po moření

Vzorek	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B
Hmotnost (g)	76,7909	76,9217	73,2957	75,1712	76,1351	77,1589	123,5325
	76,7903	76,9218	73,2951	75,1712	76,1351	77,1588	123,5321
	76,7900	76,9216	73,2953	75,1711	76,1349	77,1589	123,5319
Průměr (g)	76,7904	76,9217	73,2954	75,1712	76,1350	77,1589	123,5322

V tabulce níže (číslo 28) je zobrazena výchozí a výsledná hmotnost daného vzorku a dále pak rozdíl hmotností, včetně procentuálního úbytku.

Tabulka 28 Hmotnostní úbytky A skupiny vzorků

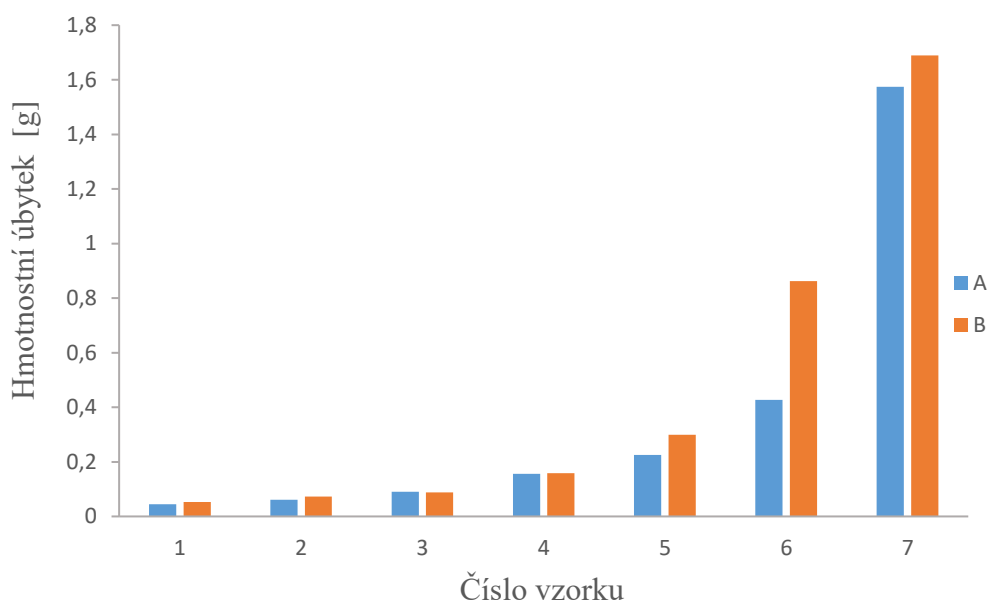
Vzorek	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A
Váha před mořením (g)	76,6778	77,4204	76,1081	76,5014	76,1671	74,5278	124,2587
Váha po moření (g)	76,6332	77,3591	76,0180	76,3458	75,9417	74,1013	122,6847
Váhový úbytek (g)	0,0446	0,0613	0,0901	0,1556	0,2254	0,4265	1,5739
% Úbytek	0,0581	0,0792	0,1183	0,2034	0,2959	0,5723	1,2667

Tabulka číslo 29 udává stejné měřené veličiny, tentokrát pro vzorky ze skupiny B.

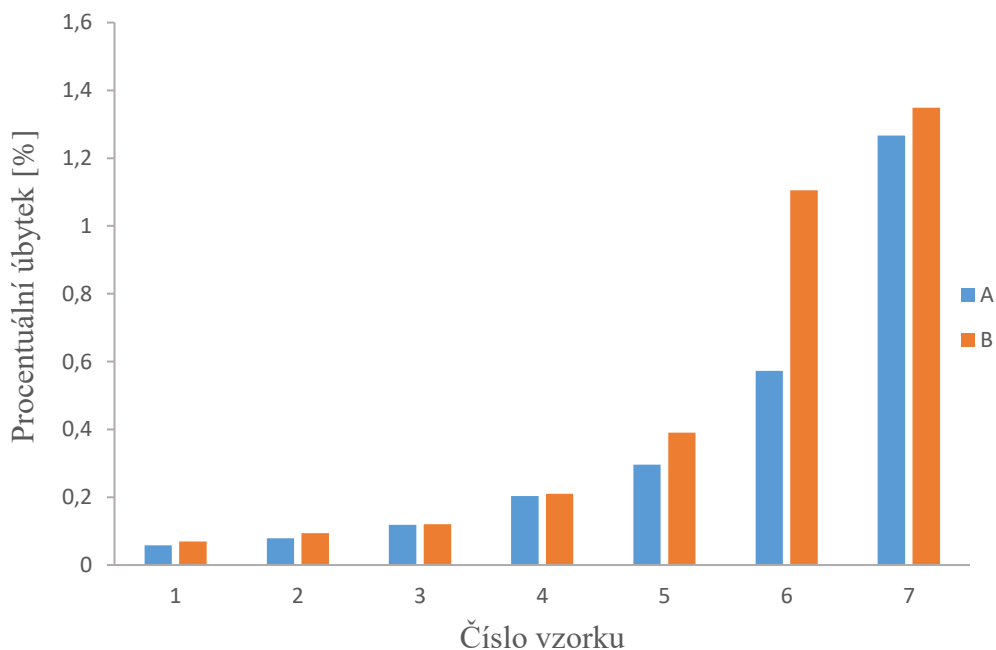
Tabulka 29 Hmotnostní úbytky B skupiny vzorků

Vzorek	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B
Váha před mořením (g)	76,8438	76,9944	73,3837	75,3293	76,4338	78,0210	125,2210
Váha po moření (g)	76,7904	76,9217	73,2954	75,1712	76,1350	77,1589	123,5322
Váhový úbytek (g)	0,0534	0,0727	0,0884	0,1581	0,2988	0,8622	1,6889
% Úbytek	0,0695	0,0944	0,1204	0,2099	0,3909	1,1050	1,3487

Pro lepší přehlednost a grafické znázornění, byly hodnoty hmotnostních úbytku vyneseny do sloupcových grafů (obr. 75 a 76). Z nich vyplývá, že s výjimkou vzorku číslo šest je úbytek v obou skupinách v podstatě shodný a liší se jen velmi málo. Úbytek materiálu je na prvních čtyřech vzorcích de facto lineární a dosahuje velmi malých hodnot. U vzorků 4A a 4B se jedná v procentuálním vyjádření pouze o 0,2 hm. %. U zbývajících třech se trend změnil na exponenciální a v případě posledních vzorků, tedy číslo 7, je úbytek roven téměř 2 gramům. V procentuálním úbytku se u vzorku 7A jednalo o 1,26 hm. %, v případě vzorku 7B o 1,34 hm. %. Je patrné, že i při naddimenzovaném mořicím času 29 hodin u vzorků 7A a 7B nedošlo k výraznému úbytku materiálu, který by zapříčinil odmoření závitů.



Obr. 75 Hmotnostní úbytky



Obr. 76 Procentuální úbytky

## 6 ZÁVĚRY

Výsledkem práce je detailní rozbor povrchové úpravy mořením. Moření je jedna z nejběžnějších povrchových úprav, se kterou se v praxi můžeme setkat. Pro správné fungování vyrobených součástí, zvláště pak těch, které jsou vyrobeny z korozivzdorné oceli je žádoucí, aby byly po svařování podrobeny operaci mořením. Dojde tak k odstranění oxidických vrstev vzniklých po svařovacím procesu. Pokud by k odstranění vrstev nedošlo, stala by se tato místa potencionálním zárodkem korozního napadení. Rovněž je v rámci celého procesu obnovena protikorozní ochrana díky pasivaci a následnému vzniku chromové oxidační vrstvy.

Práce se dále zabývá problematikou svařitelnosti austenitických ocelí a svařovací metodou 141 dle ČSN EN ISO 4063. Experimentální část práce probíhala ve spolupráci s firmou FK systém. Jelikož však nedisponuje vlastním portfoliem výrobků, byla k experimentu přizvána navíc firma IN-EKO TEAM. Cílem experimentu bylo zjistit příčinu mizení závitů M8 na součásti zvané sprchovadlo, kterou IN-EKO vyrábí.

V rámci experimentu byla proto provedena analýza svařovacího procesu, zejména pak výpočet tepla dodaného do svaru a analýza makrostruktury svaru. Výpočet tepla vneseného tepla do svaru neprokázal, že by došlo k významnému přehřátí svařovaného dílu. Makrostruktura pak prokázala určité vady svaru, které byly hodnoceny dle normy ČSN EN ISO 5817. Z hlediska použití součásti se však nejednalo o vady, které by zabraňovaly správnému fungování sprchovadla. Byla rovněž vypracována pWPS dokumentace pro svařování sprchovadla, která je součástí přílohy 10.

Druhá část experimentu se zaměřovala na samotný proces moření. Po zjištění problematiky mizejících závitů byl technologický postup moření ze strany FK systému upraven, nicméně nově stanovená délka 15 minut se při moření prvního sprchovadla ukázala jako nedostatečná. Z tohoto důvodu bylo provedeno moření dvou sprchovadel po různou dobu, včetně jejich převážení před a po procesu. Z výsledků vyplynulo, že neoptimalnější doba moření sprchovadla jsou 4 hodiny. Rovněž bylo zjištěno, že nedošlo k mizení závitu, a to ani po předimenzovaném čase moření 29 hodin. Z vyhodnocení váhových úbytků, které byly zaneseny do grafů je patrné, že zpočátku je růst úbytku lineární a u posledních tří vzorků je exponenciální. Přesto však ani u vzorku 7A a 7B nedošlo k dramatickému úbytku materiálu.

V neposlední řadě byla pro FK systém vytvořena příručka (příloha 11), která je určena zákazníkům. V ní jsou vyobrazeny a popsány nejčastější vady, kterých se zákazníci dopouštějí, kvůli kterým není možné moření provést zcela správně. Příručka tedy slouží jako návod, který má usnadnit čas a námahu s případnými reklamacemi, jak zákazníkovi, tak FK systému.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [94]

1. VÁŇA, Pavel. MOŘENÍ V KYSELINĚ SOLNĚ. *Ekomor.cz* [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wpcontent/uploads/2017/04/Mo%C5%99en%C3%AD-v-kyselin%C4%9B-soln%C3%A9-Konference-OP-2016-min.pdf>
2. MEC, Karel. Moření kovů z pohledu ekologie. *Konstrukce.cz* [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20170331211617/http://www.konstrukce.cz/clanek/moreni-kovu-z-pohledu-ekologie/>
3. *Pickling & Passivation* [online]. [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: <https://astropak.com/service/pickling-passivation/#>
4. KUDĚLKA, Vladimír, Stanislav KREJČÍ a František DOLÁK. VLIV ZBARVENÝCH PÁSEM KOLEM SVARŮ NA VLASTNOSTI SVARU I JEHO TEPELNĚ OVLIVNĚNÉ OBLASTI. *Www.cws-anb.cz* [online]. 2017 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=550>
5. *FK system* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.fksystem.cz>
6. *IN-EKO TEAM s.r.o.* [online]. [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://www.in-eko.cz>
7. Přehled chemického složení (rozběr tavby) korozivzdorných ocelí pro všeobecné použití obsažených v normě EN 10088. *Bbolzano.cz* [online]. [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyroby-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyroby-z-oceli-korozivzdornych/prehled-chemickeho-slozeni>
8. ŠTURC, Josef. *Moření oceli*. Praha: STNL, 1985.
9. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
10. *Fosfátování* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <http://www.zprecis.cz/fosfatovani/>
11. TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
12. PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-707-8235-8.
13. HRABOVSKÝ, Jozef. *Kvantifikacemechanismů hydraulického odstranění okují* [online]. Brno, 2012 [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=59027](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=59027). Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.
14. BARTONÍČEK, Robert. *Navrhování protikorozní ochrany*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Korozie a ochrana materiálů.
15. STODOLA, Jiří. *Úvod do teorie údržby*. Brno: Univerzita obrany, 2009. ISBN 978-80-7231-674-8.
16. KALOUSEK, Jaroslav a Ludovít DOBROVSKÝ. *Teorie hutních pochodů*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0658-4.
17. KIZLINK, Juraj. *Technologie chemických látek: chemický průmysl, korozie, konstrukční materiály, technické plyny, anorganické a organické produkty, dřevo, zpracování uhlí, výroba paliv, petrochemie, pesticidy, tenzidy, plasty a kaučuk, různé přísady, katalyzátory, výbušniny, biotechnologie, doprava*. Vyd. 3., přeprac. a dopl. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. ISBN 80-214-2913-5.

18. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
19. Pickling of Hot Rolled Strip of Carbon Steel in Pickling Lines. *Ispatguru* [online]. 2013 [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://www.ispatguru.com/pickling-of-scale-formed-on-hot-rolled-strip-of-carbon-steel/#>
20. The Art of Pickling: The Origin of Scale. *New Zealand steel* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.nzsteel.co.nz/new-zealand-steel/the-story-of-steel/the-science-of-steel/the-art-of-pickling/>
21. GRAF, Marcel a Rudolf KAWALLA. Scale development on steel during hot strip rolling. *Core: The world's largest collection of open access research papers* [online]. 2013 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/228810003.pdf>
22. *Koroze kovů: Elektrochemická (fyzikálně-chemická) koroze* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2286>
23. KONEČNÁ, Kateřina. Vliv tepelného zpracování na strukturu okujové vrstvy a její odstranění mořením v redukční tavenině. *Systém vzdělávání pro personální zabezpečení výzkumu a vývoje v oblasti moderního trendu povrchového inženýrství – integrity povrchu* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: [https://www.integrita.zcu.cz/download/skola2/ostrava\\_prez2.pdf](https://www.integrita.zcu.cz/download/skola2/ostrava_prez2.pdf)
24. Contribution of electrochemical dissolution during pickling of low carbon steel in acidic solutions. *Corrosion Science* [online]. 2014, , 362-368 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0010938X14000511>
25. *Steel Pickling in Challenging Conditions* [online]. Helsinki, 2014 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70713/Steel\\_Pickling\\_in\\_Challenging\\_Conditions\\_2014\\_Thesis\\_Mika\\_Maanonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/70713/Steel_Pickling_in_Challenging_Conditions_2014_Thesis_Mika_Maanonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bachelor Thesis. Metropolia University of Applied Sciences.
26. CHEN, Yun a Wenzhong YANG. Formulation of Corrosion Inhibitors. *Water Chemistry* [online]. 2020 [cit. 2021-01-24]. ISBN 978-1-78985-558-6. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/water-chemistry/formulation-of-corrosion-inhibitors>
27. Inhibitors. *Chemetall* [online]. [cit. 2021-01-23]. Dostupné z: [https://www.chemetall.com/Documents/Media-Library-Documents/Literature/Product-Process-Info/Januar-2015/prodinfo\\_inhibitoren\\_eng.pdf](https://www.chemetall.com/Documents/Media-Library-Documents/Literature/Product-Process-Info/Januar-2015/prodinfo_inhibitoren_eng.pdf)
28. A Strategy for Cleaner Pickling: Effect, Mechanism, and Evaluation Method of a Complex-Inhibitor in Hydrochloric Acid Medium. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [online]. 2012, **51**, 2615-2621 [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/ie201538m>
29. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.
30. KREIBICH, Viktor. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00476-7.

31. Steel Pickling: A Profile. *U.S. Environmental Protection Agency Report and environmental violation* [online]. Research Triangle Park, NC 27709, 1993 [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-07/documents/steel-pickling\\_ip\\_12-1993.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-07/documents/steel-pickling_ip_12-1993.pdf)
32. M. COTTEL, Catherine, J.A. SPRAGUE a Fred A. SMITH. *ASM Handbook Surface engineering*. 5. USA: ASM International, 1994. ISBN 978-1-62708-170-2.
33. LIU, Yang. Hydrochloric Acid Pickling Process Optimization in Metal Wire Working. *International Journal of Simulation Systems, Science & Technology* [online]. China, 2015 [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://ijssst.info/Vol-16/No-5/paper1.pdf>
34. BARLOW, Daniel. Pickling Steel. *American Galvanizers Association* [online]. 2015 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://galvanizeit.org/knowledgebase/article/pickling-steel>
35. VLIV REDUKČNÍ TAVENINY NA MOŘENÍKOROZIVZDORNÝCH OCELÍ. *Ekomor* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/04/Mo%C5%99en%C3%AD-v-reduk%C4%8Dn%C3%AD-tavenin%C4%9B-p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka-min.pdf>
36. VÁŇA, Pavel. Regenerace mořících kyselin s využitím membránových technik. *Ekomor* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/02/Regenerace-kyselin-s-vyu%C5%BEit%C3%ADm-membr%C3%A1n.pdf>
37. DAHLGREN, Lena. *Treatment of Spent Pickling Acid from Stainless Steel Production: A review of regeneration technologies with focus on the neutralisation process for implementation in Chinese industry* [online]. Stockholm, 2010 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:473369/fulltext01>. Master of Science Thesis. Royal Institute of Technology.
38. Pickling of stainless steels in a mixture of HNO<sub>3</sub> + HF and the use of alkaline potassiumpermanganate. *Ekomor* [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/02/Pickling-in-HNO3-pouze-anglicky.pdf>
39. VÁŇA, Pavel. Redukční tavenina–účinná předúprava při moření vysoclegovaných ocelí. *Ekomor* [online]. 2016 [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/02/%C4%8C%C3%A1nek-v-%C4%8Dasopise-Focus-Nerez-2016-Reduk%C4%8Dn%C3%AD-tavenina-min.pdf>
40. FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2. upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7185-3.
41. PILOUS, Václav a Vladimír KUDĚLKA. *Svařitelnost ocelí*. Brno: TESYDO, 2017. ISBN 978-80-87102-17-6.
42. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-24820255.
43. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 186 s. ISBN 80-708-2697-5.

44. TECHNICKÉ MATERIÁLY I.KOVOVÉ MATERIÁLY učební text. *Personalizace výuky prostřednictvím e-learningu* [online]. Ostrava: Vysoká škola Báňská-Technická univerzita Ostrava, 2012 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TM1/Technicke%20materialy%20I.pdf>
45. LIPPOLD, John a Damian KOTECKI. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. United Kingdom: Wiley, 2005. ISBN 978-0-471-47379-4.
46. *Asociace korozních inženýrů* [online]. 1. 2012 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: [https://www.aki-koroze.cz/bulletin.php?sel\\_bulletin=2012/4](https://www.aki-koroze.cz/bulletin.php?sel_bulletin=2012/4)
47. ČÍHAL, Vladimír. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 3. Praha: SNTL, 1984.
48. STAINLESS STEEL GRADES AND CLEANING. *Park Science* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://park-science.blogspot.com/2015/05/stainless-steel-grades-and-cleaning.html>
49. HAJDÍK, Jiří a Michal HEINRICH. Svařování vysokolegovaných ocelí. *Svět svaru* [online]. 2007, 11 (2), 18-19 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/41990795/obsah-a-2-2007-hadyna>
50. Svařování nerezavějících ocelí. *ESAB* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
51. *ASM handbook: Welding, Brazing and Soldering*. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 08-717-0382-3.
52. MATHERS, Gene. Welding of austenitic stainless steel. *The Welding Institute* [online]. Cambridge, 2015 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-of-austenitic-stainless-steel-103>
53. *Crack Repair of Difficult to Weld Materials* [online]. [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: <https://medium.com/sandbox-forge/crack-repair-of-difficult-to-weld-materials-4ede30421ea4>
54. Koroze: Mezikrystalová koroze austenitické korozivzdorné oceli. *Wikipedie* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze#/media/Soubor:Intergranular\\_corrosion.JPG](https://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze#/media/Soubor:Intergranular_corrosion.JPG)
55. Overview of Intermetallic Sigma ( $\sigma$ ) Phase Precipitation in Stainless Steels. *ISRN Metallurgy* [online]. 2012, 2012, 1-16 [cit. 2021-02-22]. ISSN 2090-8717. Dostupné z: [doi:10.5402/2012/732471](https://doi.org/10.5402/2012/732471)
56. KOPEC, Bernard, Josef NEUGEBAUER a Pavel MAZAL. *Výrobní technologie a typické vady výrobků: (Basic) : studijní příručka*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství ve spolupráci s Českou společností pro NDT, 2020. ISBN 978-80-214-5878-9.
57. *ČSN EN ISO 4063: Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
58. HLAVATÝ, Ivo. *Teorie a technologie svařování* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2021-02-22]. ISBN 978-80-248-2414-7. Dostupné z: <http://staryweb.ivohlavaty.cz/2009Svarovani/indexs.htm>
59. Přehled způsobů svařování a základní dělení metod. *Svarox technology* [online]. 2016 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <http://svarox.cz/wp-content/uploads/P%C5%99ehled-zp%C5%AFsob%C5%AF-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD.pdf>

60. The History of TIG Welding. *Primeweld: Welding equipment* [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://primeweld.com/blogs/news/the-evolution-of-tig-welding>
61. Svařování TIG - seznámení. *Svarecky-elektrody: Rádce svářeče* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-39/t-120>
62. *Základní kurz svařování metodou 141: se souborem testových otázek*. 4. Ostrava: Zeross, 2018. ISBN 978-80-85771-16-9.
63. SEJČ, Pavol, Bernard BENKO a Ernest GONDÁR. *Vybrané technológie - Zváranie a príbuzné procesy*. V Bratislave: Vydavateľstvo STU, 2006. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-2490-4.
64. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZERROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
65. Tig Welding Aerospace. *Wallpapertip* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: [https://www.wallpapertip.com/wpic/mJwiJ\\_tig-welding-aerospace/](https://www.wallpapertip.com/wpic/mJwiJ_tig-welding-aerospace/)
66. TIG welding. *Manufacturing guide: Your support for product development and manufacturing* [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/tig-welding>
67. KOLEŇÁK, Roman, Koloman ULRICH a Martin PROVAZNÍK. *Zváracie procesy a zariadenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2011. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3575-9.
68. ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG oceli a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-887-8021-7.
69. What are the differences between TIG (DC) and TIG (AC)? *Jasic: The power in inverter technology* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.jasic.co.uk/differences-between-tig-dc-and-ac>
70. Svařování TIG - druhy zapalování. *Svarecky-elektrody: Rádce svářeče* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-druhy-zapalovani-oblouku/t-40/t-108>
71. Svařování TIG - AC nebo DC? *Svarecky-elektrody: Rádce svářeče* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-ac-nebo-dc/t-68/t-122>
72. DANIEL, Hadyna. Mezníky technologie TIG AC/DC pro svařování hliníku. *Automig: internetový magazín* [online]. Ostrava, 2006 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <http://automig.cz/fileadmin/pub/doc/pdf/V%C3%BDvoj%20TIG%20ACDC%20sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD.pdf>
73. ŠPLÍCHAL, Jan. *Návrh snížení počtu svarů u rámových dveří kolejových vozidel z Al slitin* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=192413](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=192413). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Marián Sigmund.
74. Svářečka AlfaIn TIG Perun 200 T HF pro TIG. *Svářecí kukla* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [https://www.svarecikukla.cz/svarecka-tig-perun-200-t-hf/?gclid=EA1aIQobChMIm-TWtZ3-7gIVgvuyCh1PtAdQEAYYAIBEGIn3\\_D\\_BwE](https://www.svarecikukla.cz/svarecka-tig-perun-200-t-hf/?gclid=EA1aIQobChMIm-TWtZ3-7gIVgvuyCh1PtAdQEAYYAIBEGIn3_D_BwE)
75. Gas tungsten arc welding. *Miller* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [http://www.itw-welding.com/media/Pdf/Welding\\_Support/QSTIGe.pdf](http://www.itw-welding.com/media/Pdf/Welding_Support/QSTIGe.pdf)

76. Gas Lens Basics for TIG (GTAW) Applications. *Miller* [online]. 2008 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/gas-lens-basics-for-tig-gtaw-applications>
77. *TIG Welding Torch Parts & Consumables*: [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://do-it-up.com/stuff/welding/tig/torch-parts-consumables/https://do-it-up.com/stuff/welding/tig/torch-parts-consumables/>
78. WATSON, Jim. What's inside your GTAW torch? *Thefabricator* [online]. 2016 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/consumables/what-s-inside-your-gtaw-torch->
79. Instagram post by Arc-Zone.com • Mar 17, 2016 at 4:40pm UTC. *Pinterest* [online]. 2016 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://fi.pinterest.com/pin/83175924361655458/>
80. Domeček kleštiny 3.2mm SR/GRIP 17/18/26. *Autogenní a svařovací technika: Jiří Rulík Chrudim* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [https://www.svarecky-chrudim.cz/eshop/horaky\\_TIG/domecky\\_plynove\\_cocky\\_ostatni/2627-domecek\\_klestiny\\_3.2mm\\_sr\\_grip\\_17\\_18\\_26\\_\\_alternativni\\_vyrobcu\\_](https://www.svarecky-chrudim.cz/eshop/horaky_TIG/domecky_plynove_cocky_ostatni/2627-domecek_klestiny_3.2mm_sr_grip_17_18_26__alternativni_vyrobcu_)
81. Domeček s plyn.čočkou 2.0-2.4mm SR/GRIP 17/18/26. *Autogenní a svařovací technika: Jiří Rulík Chrudim* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [https://www.svarecky-chrudim.cz/eshop/horaky\\_TIG/domecky\\_plynove\\_cocky\\_ostatni/2635-domecek\\_s\\_plyn.cockou\\_2.0-2.4mm\\_sr\\_grip\\_17\\_18\\_26\\_\\_alternativni\\_vyrobcu\\_](https://www.svarecky-chrudim.cz/eshop/horaky_TIG/domecky_plynove_cocky_ostatni/2635-domecek_s_plyn.cockou_2.0-2.4mm_sr_grip_17_18_26__alternativni_vyrobcu_)
82. Osazení "Jumbo" s plynovou čočkou. *Svarecky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/spotrebn-dily-pro-horaky-mig-mag-tig-plazmove/horaky-tig/rada-17-18-26-a-kompatibilni/osazeni-jumbo-s-plynovou-cockou/c-714>
83. BOWERS, Jon. Tungsten 101c: Selecting, prepping your tungsten electrode for DC welding. *The Fabricator* [online]. 2017 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/arcwelding/tungsten-101>
84. SAMMONS, Mike. Guidelines for tungsten electrodes: Identifying, selecting, and preparing tungsten electrodes. *The Fabricator* [online]. 2006 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: Identifying, selecting, and preparing tungsten electrodes
85. Druhy a použití W-elektrod: Jaké jsou rozdíly mezi wolframovými elektrodami? Jakou elektrodu použít? Jaký zvolit průměr elektrody? *Svarecky-elektrody* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/druhy-a-pouziti-wolframovych-elektrod/t-30/t-107>
86. Effect of Tip angle of Tungsten electrode and proper grinding techniques – GTAW. *Weld Knowledge* [online]. 2015 [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://weldknowledge.com/2015/08/14/effect-of-tip-angle-of-tungsten-electrode-and-proper-grinding-techniques-gtaw/>
87. Nové barevné značení tlakových lahví. *Linde: Technické plyny* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: [https://www.linde-gas.cz/cs/images/Barevn%C3%A9%20zna%C4%8Den%C3%AD%20lahv%C3%AD\\_tcm79-575758.pdf](https://www.linde-gas.cz/cs/images/Barevn%C3%A9%20zna%C4%8Den%C3%AD%20lahv%C3%AD_tcm79-575758.pdf)
88. Plyny A-Z. *Linde: Technické plyny* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/shop/cs/cz-ig/plyny-a-z>

89. Esab OK Tigrod, 347Si, 5 kg, TIG, pr. 1,2 mm. *Wolf plus* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.wolfplus.cz/Esab-OK-Tigrod-347Si-5-kg-TIG-pr-1-2-mm-d398.htm>
90. 1,0mm Böhler Union AlMg5 svařovací drát WIG pro hliník a slitiny hliníku. *Koweld: Prodej, půjčovna a servis - svářečky* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.koweld.cz/produkt/union-almg5-svarovaci-drat-wig-pro-hlinik-a-slitiny-hliniku-prumer-10mm/>
91. FOCUS TIG 160 DC HP PFCFOCUS TIG 160 DC HP PFC: SNADNO POUŽITELNÝ A SPOLEHLIVÝ TIG A MMA DC SVAŘOVACÍ STROJ. *Migatronik: Welding value* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.migatronik.com/cz/podpora/vyrobek/focus-tig-160-dc-hp-pfc%20-%201341>
92. ČSN EN ISO 5817: Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě laserového a elektronového svařování) - Určování stupňů kvality. Praha: Český normalizační institut, 2014.
93. MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
94. *CITACE PRO: Generátor citací* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Značka	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
ASTM	American Society for Testing Materials	
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hydroxid vápenatý	
Cr <sub>E</sub>	Chromový ekvivalent	[%]
DC	Stejnoseměrný proud (Direct Current)	
eV	Elektronvolt	
FeO	Oxid železnatý	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid železitý	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Oxid železnato-železitý	
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	
HB	Tvrдость dle Brinella	N/mm <sup>2</sup>
HRB	Tvrдость dle Rockwella	N/mm <sup>2</sup>
HCl	Kyselina chlorovodíková	
HF	Kyselina fluorovodíková	
H <sub>2</sub> O	Voda	
HNO <sub>3</sub>	Kyselina dusičná	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Kyselina fosforečná	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kyselina sírová	
I <sub>s</sub>	Svařovací proud	[A]
KOH	Hydroxid draselný	
KV	Nárazová práce	[J]
MAG	Metal active gas	
MIG	Metal inert gas	
MKK	Mezikrystalová koroze	
MnS	Sulfid manganatý	
NaH	Hydrid sodný	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Uhličitan sodný	
NaOH	Hydroxid sodný	
NaNO <sub>2</sub>	Dusitan sodný	
NaNO <sub>3</sub>	Dusičnan sodný	
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Síran sodný	
Ni <sub>E</sub>	Niklový ekvivalent	[%]
Q	Teplo dodané do svaru	[kJ·mm <sup>-1</sup> ]
ROE	Svařování ruční obalovanou elektrodou	
R <sub>p0,2</sub>	Mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	
TIG	Tungsten inert gas	
U <sub>s</sub>	Svařovací proud	[V]
V <sub>m</sub>	Objem korozní zplodiny	[m <sup>3</sup> /mol]
V	Atomový objem	[m <sup>3</sup> /mol]
v <sub>s</sub>	Svařovací rychlost	[mm·s <sup>-1</sup> ]
WIG	Wolfram inert gas	
WPS	Welding procedure specification	

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Změna struktury povrchu před a po moření [3] .....	9
Obr. 2 Nová hala FK systému v Řečkovících [5] .....	10
Obr. 3 Pohled na mořicí vany v nové hale [5] .....	10
Obr. 4 Sprchovadlo .....	11
Obr. 5 Připevňovací část trysky .....	11
Obr. 6 Diskový filtr .....	11
Obr. 7 Typický vzhled fosfátované součásti [10] .....	13
Obr. 8 Vrstvy oxidů železa [19] .....	15
Obr. 9 Koroze uhlíkaté oceli [22] .....	16
Obr. 10 Mechanismus vzniku mikro a makro článků [1] .....	17
Obr. 11 Závislost doby moření na teplotě a koncentraci [1] .....	18
Obr. 12 Doba moření v závislosti na složení okuje [1]... <b>Chyba! Záložka není definována.</b>	
Obr. 13 Vliv proudění na koncentrační spád [1] .....	20
Obr. 14 Závislost času moření na koncentraci kyseliny [1] .....	21
Obr. 15 Závislost doby moření na obsahu Fe a teplotě [1] .....	22
Obr. 16 Mechanismus úběru vrstev [9] .....	23
Obr. 17 Vliv koncentrace na dobu moření [29] .....	24
Obr. 18 Složení prvků v závislosti na tloušťce materiálu [36] .....	25
Obr. 19 Zařízení pro moření v taveninách [39] .....	26
Obr. 20 Parametry svařitelnosti [43] .....	27
Obr. 21 Rovnovážný diagram soustavy Fe-Cr [40] .....	28
Obr. 22 Typy struktur [48] .....	29
Obr. 23 Schaefflerův diagram [49] .....	30
Obr. 24 De Longův diagram [49] .....	31
Obr. 25 WRC 1992 diagram [50] .....	31
Obr. 26 Krystalizační trhlina [53] .....	32
Obr. 27 Mezikrystalová koroze [54] .....	33
Obr. 28 $\sigma$ -fáze v mikrostruktuře [55] .....	35
Obr. 29 Svařování TIG [65] .....	36
Obr. 30 Schéma svařování [66] .....	37
Obr. 31 Elektrický oblouk a jeho části [73] .....	38
Obr. 32 Průběh střídavého proudu [72] .....	39
Obr. 33 Možnosti zapojení elektrod [62] .....	39
Obr. 34 Svařovací invertor [74] .....	41
Obr. 35 Části svařovacího hořáku [77] .....	41
Obr. 36 Porovnání hořáků [78, 79] .....	42
Obr. 37 Standartní domeček a plynová čočka [80, 81] .....	43
Obr. 38 Porovnání turbulentního a laminárního proudění [82] .....	43
Obr. 39 Barevné značení elektrod [83] .....	44
Obr. 40 Broušení elektrody [86] .....	45
Obr. 41 Tvar svarové lázně v závislosti na úhlu špičky [86] .....	45
Obr. 42 Barevné značení tlakových lahví [88] .....	46
Obr. 43 Svařovací drát od firmy Esab [89] .....	47
Obr. 44 Drát na cívce od firmy Böhler [90] .....	47
Obr. 45 Trubička po nastehování k připevňovací části .....	49
Obr. 46 Stehování trubičky na tělo sprchovadla .....	49
Obr. 47 Svařovací pracoviště .....	50
Obr. 48 Svařené sprchovadlo .....	52
Obr. 49 Detail obou svarů a náběhových barev .....	53

Obr. 50 Detail kritické části svařence .....	53
Obr. 51 Mořicí vana .....	54
Obr. 52 Sprchovadlo po moření .....	55
Obr. 53 Detail závitů po moření.....	55
Obr. 54 Sprchovadlo po pasivaci .....	55
Obr. 55 Struers Labotom 5 .....	56
Obr. 56 Metkon Ecopress 100.....	56
Obr. 57 Struers LaboPol-5 .....	56
Obr. 58 Vzorek č. 1 - nevyhovující.....	57
Obr. 59 Vzorek č. 2 - vyhovující .....	57
Obr. 60 Vzorek č. 3 - vyhovující .....	58
Obr. 61 Vzorek č.4 - nevyhovující.....	58
Obr. 62 Sprchovadla.....	59
Obr. 63 Analytické váhy .....	59
Obr. 64 Odmaštění vzorků .....	60
Obr. 65 Mořicí lázeň .....	61
Obr. 66 Vzorek 1A .....	62
Obr. 67 Detail vzorku 1A.....	62
Obr. 68 Vzorek 2A .....	63
Obr. 69 Vzorek 3A .....	63
Obr. 70 Vzorek 4A .....	64
Obr. 71 Vzorek 5A .....	64
Obr. 72 Vzorek 6A .....	65
Obr. 73 Vzorek 7A .....	65
Obr. 74 Detail vzorku 7A a viditelné napadení materiálu (zrnitost povrchu).....	66
Obr. 75 Hmotnostní úbytky .....	68
Obr. 76 Procentuální úbytky .....	68

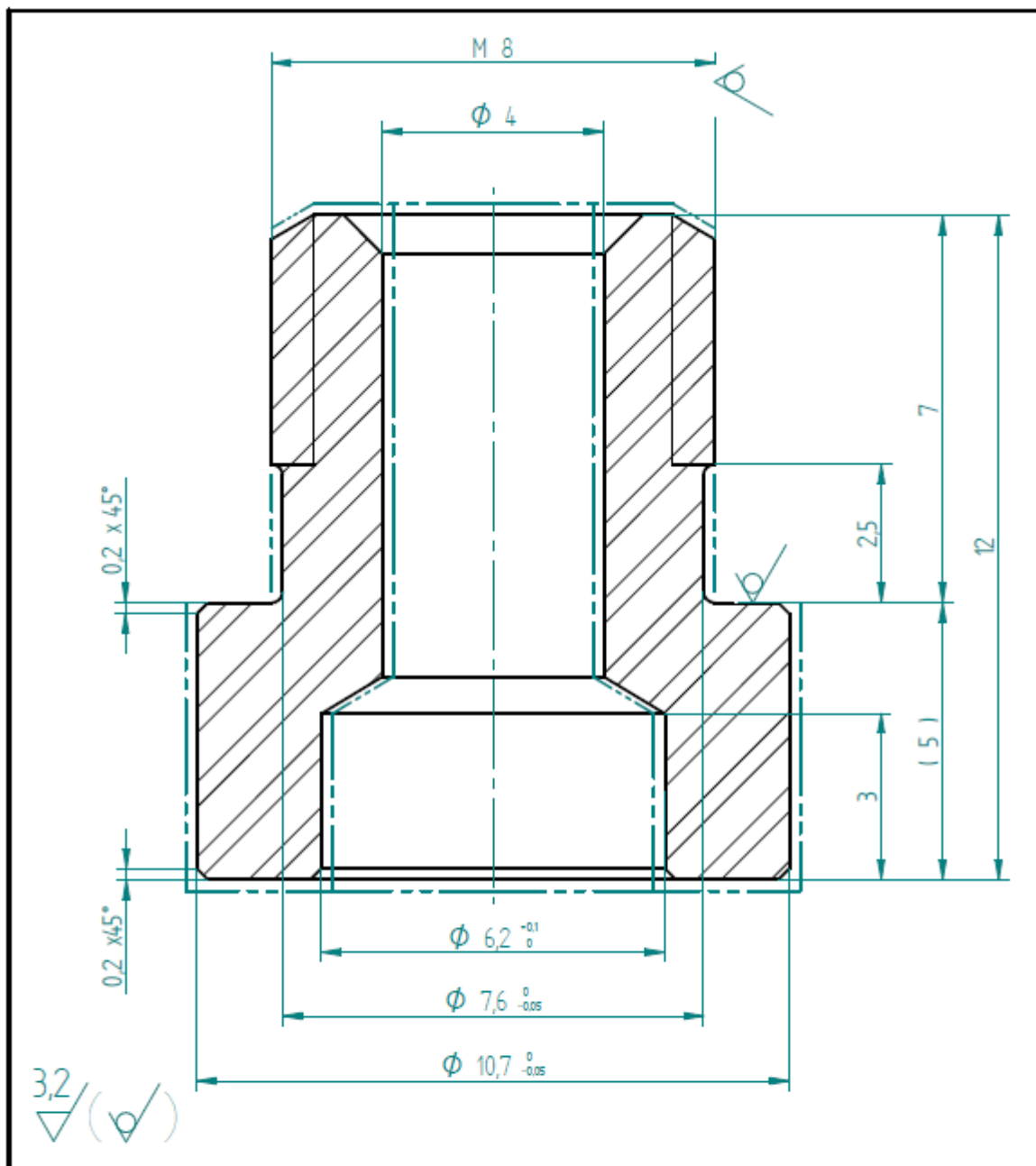
## SEZNAM TABULEK



Tabulka 1 Chemické složení oceli X2CrNiMo17-12-2 (tryska) dle atestu v % .....	12
Tabulka 2 Chemické složení X2CrNiMo17-12-2 v % dle normy [7].....	12
Tabulka 3 Mechanické vlastnosti oceli X2CrNiMo17-12-2 (tryska) dle atestu .....	12
Tabulka 4 Chemické složení oceli X2CrNiMo17-12-2 (přípevňovací část) dle atestu v %	12
Tabulka 5 Mechanické vlastnosti oceli X2CrNiMo17-12-2 (přípevňovací část) dle atestu	12
Tabulka 6 Hodnoty Pillingova-Betworthova čísla pro vybrané kovy [18] .....	15
Tabulka 7 Podíl oxidů při daných teplotách [8].....	15
Tabulka 8 Klady a zápory použití kyseliny chlorovodíkové .....	22
Tabulka 9 Klady a zápory použití kyseliny sírové.....	24
Tabulka 10 Zkratky metody 141 [67] .....	37
Tabulka 11 Doporučené průměry plynových trysek dle proudu [64] .....	42
Tabulka 12 Přehled elektrod a jejich značení [85].....	44
Tabulka 13 Doporučené vrcholové úhly elektrody podle použitého svařovacího proudu [64]	45
.....	45
Tabulka 14 Porovnání chemického složení ocelí X2CrNiMo17-12-2.....	48
Tabulka 15 Porovnání chemického složení oceli X2CrNi18-9.....	48
Tabulka 16 Chemické složení přídatného drátu RW 316 L Si-TIG v % .....	49
Tabulka 17 Vlastnosti zdroje Focus TIG 160 DC HP PFC .....	50
Tabulka 18 Parametry svařování sprchovadla .....	50
Tabulka 19 Naměřené hodnoty při svařování .....	51
Tabulka 20 Vypočítané hodnoty rychlosti svařování .....	52
Tabulka 21 Vypočítané hodnoty vneseného tepla .....	52
Tabulka 22 technologický postup moření .....	54
Tabulka 23 Váhy A skupiny vzorků před mořením.....	60
Tabulka 24 Váhy B skupiny vzorků před mořením.....	60
Tabulka 25 Intervaly moření.....	61
Tabulka 26 Váhy A skupiny vzorků po mořením.....	66
Tabulka 27 Váhy B skupiny vzorků po mořením .....	66
Tabulka 28 Hmotnostní úbytky A skupiny vzorků .....	67
Tabulka 29 Hmotnostní úbytky B skupiny vzorků .....	67

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1** Výkres přípevňovací části
- Příloha 2** Výkres trysky
- Příloha 3** Výkres sprchovadla
- Příloha 4** Atest trysky
- Příloha 5** Atest přípevňovací části
- Příloha 6** Atest přídavného drátu
- Příloha 7** Technologický postup moření sprchovadla
- Příloha 8** Doplnující metalografické vzorky
- Příloha 9** Fotky vzorků skupiny B před a po moření
- Příloha 10** pWPS dokumentace
- Příloha 11** Příručka pro zákazníky FK systému

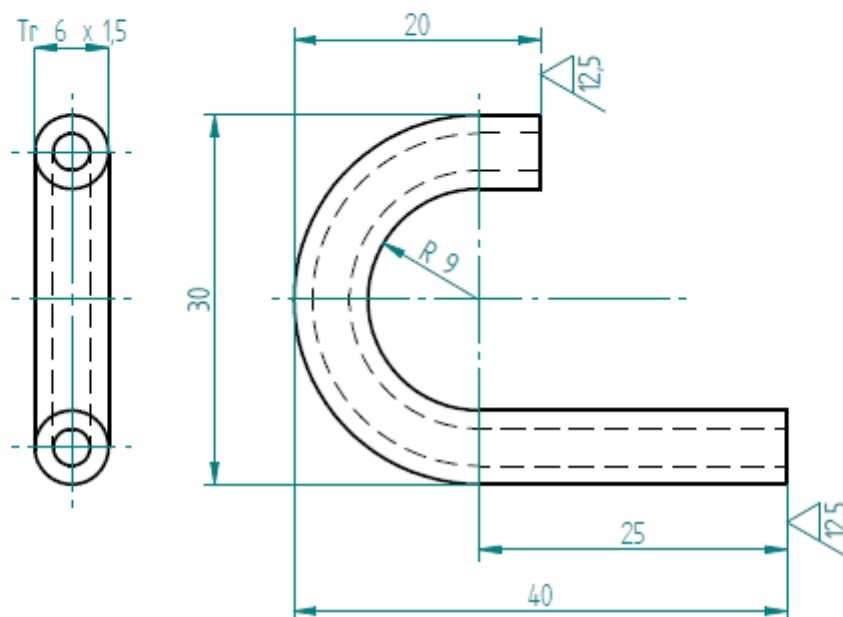
**Příloha 1** Výkres přípevňovací části



Přelotovar <b>Kr12-14</b>		Počet kusů	Zakázka
Materiál <b>I.430I</b>	Hmotnost <b>0.005 kg</b>	<b>ALL FOR WATER</b> 	Trnec 1734 Tišnov 66603 Czech Republic
Měřítko <b>10:1 (x)</b>	Promítání 		
Formát <b>A4</b>	Přesnost <b>ISO 2768-mK</b>	Název	
Vyhotovil <b>Jakub</b>	Datum <b>24.9.2020</b>	<b>Pripevňovací část trysky FD</b>	
Schválil	List <b>1/1</b>	Číslo výkresu	
Druh dokumentu		<b>23547-zl</b>	
Soubor <b>23547-zl-Pripev..cast.trysky.dft</b>			
Ročník			

VÝKRES JE DUŠEVNÍM MAJETKEM FIRMY IN-EKO TEAM s.r.o., NESMÍ BYT POUŽIT A KOPIOVÁN TŘETÍ OSOUBOU, JI PŘEDÁN Ā JINAK S NIM NAKLÁDÁNO BEZ PÍSEMNÉHO POVOLENÍ IN-EKO TEAM s.r.o.,

Příloha 2 Výkres trysky



Polotovár <b>Tr_6x1,5-82</b>		Počet kusů	Zakázka	
Materiál <b>I.430I</b>	Hmotnost <b>0,012 kg</b>	<b>ALL FOR WATER</b>		Trnec 1734 Tišnov 66603 Czech Republic
Měřítko <b>2:1 (x)</b>	Proमितóní			
Formát <b>A 4</b>	Přesnost <b>ISO 2768-mK</b>	Název		
Vyhotovil <b>jakub</b>	Datum <b>9.11.2020</b>	<b>Tr_tryska_1</b>		
Schválil	List <b>1/1</b>	Číslo výkresu		
Druh dokumentu		<b>25079-z1</b>		
Soubor <b>25079-z1-Tr_tryska_1.dft</b>				
Podpis				

VÝKRES JE DUŠEVNÍM MAJETKEM FIRMY IN-EKO TEAM s.r.o., NESMÍ BÝT POUŽIT A KOPIROVÁN TŘETÍ OSOUBOU, JI PŘEDÁN Ā JINAK S NIM NAKLÁDÁNO BEZ PÍSEMNĚHO POVOLENÍ IN-EKO TEAM s.r.o.,



Příloha 4 Atest trysky



The products were manufactured in controlled conditions of certified quality, environment and safety management systems / Die Produkte wurden in kontrollierter und zertifizierter Qualität, Umwelt- und Sicherheitsrichtlinien hergestellt / Продукция изготовлена в условиях сертифицированных систем менеджмента качества, окружающей среды и безопасности

INSPECTION CERTIFICATE ABNAHMEPRUFZEUGNIS СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА	In accordance with / gemäß / В соответствии с	№	Rev / Rev. / Ред.	Page / Seite / Стр.
	EN 10204:2004 type 3.1	2018/793-37	00	1/3

Manufacturer / Herstellerwerk / Изготовитель: CENTRAVIS PRODUCTION UKRAINE PJSC  
 ЧАО СЕНТРАВИС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН  
 Address / Adresse / Адрес: 56, Trubnikov Avenue, Nikopol, Dnipropetrovsk Region, UKRAINE, 53201  
 tel/fax: +38 (0566) 69 11 60, e-mail: info@centravis.com

CUSTOMER REFERENCES / KUNDENREFERENZ / ИНФОРМАЦИЯ О ПОКУПАТЕЛЕ

Customer / Kunde / Заказчик	
Country of destination / Bestimmungsland / Страна назначения	
Address / Adresse / Адрес	
Customer order / Auftragsnummer / Контракт	E9398-86509
Production order# / Werksauftragsnummer / Заказ на производство	1090008916

PRODUCT DESCRIPTION / PRODUKTBESCHREIBUNG / ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКЦИИ

Seamless stainless tubes Nahtlose Edelstahlrohre Бесшовные нержавеющие трубы	Cold finished Kalt gefertigt Холоднодеформированные	Bright annealed - CFA Blankgeglüht - CFA Светлоотожженная CFA	Plain ends, square cut, deburred Glatte Enden, gerader Schnitt, entgratet Прямые концы, без заусенцев
Steel grade / Stahlgüte / Марка стали	1.4401 / 1.4404 / TP316 / TP316L		
Steel type / Gefüge Art / Класс стали	Austenitic / Austenitisch / Аустенитная		
Specification / Norm / Нормативная документация	EN 10216-5:2013/ASTM A213M-15c/ASME BPVC Section IIA SA-213M ed 2015/ASTM A269-15a		
Additional requirements / Zusätzliche Anforderungen / Доп. требования	AD2000-W2; AD2000-W10; TRB 100; TRD 100; TC2		

Chemical composition, % / chemische Zusammensetzung / Массовая доля элементов в %

Heat # / Schmelze # / № плавки	Melting process / Erschmelzungsart / Метод выплавки	State / Probe / Проба	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
			max 0.030	max 2.00	max 0.040	max 0.015	max 1.00	16.50 - 18.00	10.00 - 13.00	2.00 - 2.50	max 0.100
A05520	EAF + AOD	Ladle / Schöpfprobe / Ковшечая	0.019	1.12	0.040	0.004	0.42	17.00	10.30	2.07	0.030
		Product / Produkt / Труба	0.018	1.13	0.039	0.005	0.40	17.01	10.26	2.07	0.024

SCOPE OF SUPPLY / UMFANG DER LIEFERUNG / ОБЪЕМ ПОСТАВКИ

Lot # / Los # / № партии	Bundle # / Bund # / № пакета	Heat # / Schmelze # / № плавки	Dimensions / Maßbereich / Размер, мм / мм	pieces / Stücke / шт.	m / м	kg / кг
925880	925880	A05520	6 x 1.5 AW x 6000-6500	10	63	10
TOTAL / INSGESAMT / ИТОГО				10	63	10

Theoretical mass / Theoretische Masse / Теоретическая масса 0.17 kg/m

Marking / Markierung / Маркировка	CENTRAVIS EN 10216-5/ASTM A213M/ASME SA213M/ASTM A269 1.4401/1.4404/TP316/TP316L TC2 EN 10305-1 CFA SML NDE 6x1,5AWx6000-6500 mm Heat No. .... Lot No ..... 31
-----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



0219553607

INSPECTION CERTIFICATE ABNAHMEPRUFZEUGNIS СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА	In accordance with / gemäß / В соответствии с	№	Rev / Rev. / Page / Seite Ред.
	EN 10204:2004 type 3.1	2018/793-37	00 / 2/3

**TEST RESULTS / TEST ERGEBNISSE / РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ**

Lot # / Los # / № партии	Test direction / Testrichtung / Направление испытаний - Longitudinal / Längsl / продольные						
	at temperature / bei Temperatur / при температуре 20°C						
	Specimen # / Probe # / № образца	Tensile strength, Rm / Bruchfestigkeit Rm / Врем.сопрор. (σ <sub>R</sub> ), МПа / МПа	Proof strength, Rp0,2 / Streckgrenze Rp0,2 / Пред.текуч. (σ <sub>0,2</sub> ), МПа / МПа	Proof strength, Rp1,0 / Streckgrenze Rp1,0 / Пред.текуч. (σ <sub>1,0</sub> ), МПа / МПа	Elongation in 50 mm, A / Bruchdehnung / Удлинение на 50 мм, δ, % / %	Elongation, A min / Bruchdehnung / Относительное удл. (δ <sub>5</sub> ), % / %	Hardness / Härteprüfung / Испытание на твердость, HRB / HRB
	515 - 690	min 205	min 240	min 35	min 40	max 90	
925880	1	600	338	366	52	50	87
	2	596	331	359	52	47	86

Test type / Prüfverfahren / Вид испытания	Requirements / Anforderungen / Требования	
100% Visual control / Visuelle Kontrolle / 100% Визуальный контроль		OK
100% Dimensional control / Maßkontrolle / 100% Контроль геометрических параметров	EN 10305-1:2002/EN 10305-1:2002	OK
100% PMI / Spektroskopische Verwechslungsprüfung / 100% Тест на несмешивание		OK
Flaring / Aufweitversuch / Раздача	EN ISO 8493:1998	OK
Flattening / Ringfaltversuch / Сплющивание	ASTM A1016M-2018	OK
100% Eddy Current test / Wirbelstromprüfung / 100% ТВК	ASTM E426-16/EN ISO 10893-1:2011	OK
Intergranular Corrosion Test / Prüfung auf interkristalline Korrosion / МКК	ASTM A262-2015 Pract. E; ISO 3651-2:1998 Pract. A	OK
Straightness / Geradheit / Кривизна	1,5 MM/M	OK


Hardness values do not exceed 22 HRC acc to NACE MR 0175-2009; ISO 15156-2009/Härtewerte überschreiten nicht 22 HRC gemäß NACE MR 0175-2009; ISO 15156-2009/Значение твердости не превышает 22 HRC в соответствии с NACE MR 0175-2009; ISO 15156-2009

The tubes were solution annealed at T=1101°C holding time min 2 Min/mm WT, then air cooled  
Lösungsgeglüht bei T=1101°C Haltezeit min 2 Min/mm WT, Luftgekühlt

Трубы термообработаны при T=1101°C время выдержки min 2 мин/мм WT, с последующим охлаждением на воздухе

Confirmation with reference to Pressure Equipment Directive 2014/68/EU: Annex I, §4.3 - The works operates a quality management that has undergone a specific assessment for materials for pressure equipment and is certified by a competent body (TUV-Cert.# 07-202-9190 WZ-0613/14); Annex I, §7.5 - elongation after rupture at tensile test no less than 14% and a bending rupture energy at impact test no less than 27 J at 20°C / Bestätigung in Bezug auf Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU, Anhang I §4.3: Das Werk wendet ein Qualitätsmanagementsystem an, das in Bezug auf Werkstoffe für Druckgeräte einer spezifischen Bewertung unterzogen wurde und von einer zuständigen Stelle (TUV-Zert.Nr. 07-202-9190 WZ-0613/14) zertifiziert ist; Anhang I, §7.5 - Bruchdehnung von mindestens 14% im Zugversuch und einer Kerbschlagarbeit von mindestens 27 J an einer iso-v-Kerbschlagprobe bei 20°C / Подтверждение согласно PED 2014/68/EU: Раздел I, § 4.3 - На производстве внедрена система управления качеством, прошедшая специальную проверку, согласно требований для материалов используемых для оборудования работающего под давлением, что подтверждено уполномоченным компетентным органом (ТЮФ-Серт.№ 07-202-9190 WZ-0613/14); Раздел I, § 7.5 - удлинение не менее 14%, энергия удара не менее 27 Дж при 20°C

**Příloha 5**      **Atest připevňovací části**

 <p>Sede Legale e amministrativa: 46040 Gossolo (AG) Ippoliti Mantova-Hisy Tel. +39 - 0376 685 1 Fax. +39 - 0376 685 600 www.marcegaglia.com</p>		Inspection Certificate 3.1 AD-2000 EN10204 Number 10220252310 Issued On 30/04/2020	
Customer: <b>NEREZOVE MATERIALY, S.R.O.</b> PRUMYSLOVA 1510 686 01 UHERSKE HRADISTE CZ		Delivery No Of 6852604914 30/04/2020 Delivery note nr 1002004297	
Consignee: <b>NEREZOVE MATERIALY, S.R.O.</b> PRUMYSLOVA 1510 686 01 UHERSKE HRADISTE CZ		Quality Control Q.M.D. A Dal Prato Plant Of Contino	
Identification Nr Quantity Heat		Pages 3/3	
<p><b>55200069 UXS 12.00x3000 A316L EN 1.4404 h9/ 1.4404 - 1.4401 ASTM A276/A479 AISI316L - AISI316 h9 EN100883 1191150863/440 OV-3526/2019 Date 05/02/2020</b></p> <p><b>COLD CENTERLESS GROUND BARS TOLERANCE EN 10278 UXS=2H</b></p> <p>20QGG000690 508 KG 36SFA060A .023 .340 1.230 .0370 .0200 16.97010.0902.060 .570 .0248 .1200 735 550 595 31.6 223</p>			
<p>Remarks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- According to AD-WZAD-W10 DIN 17140 cooling at 1050°C, water cooling</li> <li>A2000DAERKBLATT W 0 / TRD 100 - EN 10272 - ASTM A 276 A479 + ASME SA 479</li> <li>The material is resistant to the intergranular corrosion according to iso 3651-2 (DIN 50914 and IC Test acc. ASTM A262 E) - An antiwring test has been effected. - Dimensional and visual check OK - We certify that material supplied complies with the requirements agreed on order -</li> </ul>			
		Issued in agreement with <b>TUV SUD Industrie Service GmbH (02/2003)</b> QMS approved acc to PED 2014/68/EU, Annex I, Para. 4.3 Notified Body 0036 (Certification no.DGR-0036-QS-W 180/2003/MLUC)	

Příloha 6 Atest přidavného drátu



23842 Ilonzo Porto (LC) - Via Giuseppe Roda 1 - Italia  
 Tel.: +39031878111 - Fax: +39031878312  
 Internet: www.rodacciai.com - e-mail: info@rodacciai.com

Azienda con sistema di gestione certificato da IGQ secondo UNI EN ISO 9001:2015

The Company's Quality Management System is certified by IGQ according to UNI EN ISO 9001:2015

**CERTIFICATO DI CONTROLLO** Inspection Certif N. 012537 Date 29/01/2020

Secondo According to . . . . . EN 10204:2004 3.1

**CLIENTE - Customer**

RAUS MARTIN ING

TYROSOVA 326  
 66401 BILOVICE NAD SVITAVOU

**ORDINE - Order**

N. PK/2020/6 Date 12/12/2019

**D.d.T. - Delivery note**

N. 00793/13 Date 29/01/2020

**Weight** KG 75,00

**Odp. Nr.** 2019/A/44561

**QUALITA' - Grade**

STANDARD	EN ISO 14343-A:2017	W 19 12 3 L Si	1.4430
STANDARD	EN ISO 14343-B:2017	SS316LSi	
STANDARD	AWS A5.9/A5.9M:2017	ER316LSi	

**Mark RODACCIAI** . . . . . RW 316 LSI

**PROFILO - Shape** . . . . . ROUND

**DIMENSIONE - Size** . . . . . mm 1,60

**TRATTAMENTO - Heat Treatment** . . . . . TIG RODS

**ESECUZIONE - Form of delivery** . . . . . COLD DRAWN

**COLATA - Heat** . . . . . X2LL

**ANALISI CHIMICA DI COLATA - Cast analysis % by mass**




C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
0,016	1,507	0,936	0,0150	0,014	18,325	12,220	2,653	0,002	0,049
Co	N	Ti	Nb	B	V				
0,019	0,0460	0,005	0,008	0,0010	0,064				

Expected minimum mechanical properties of all weld metal  
 Temperature °C +20 -110

Yield strength, Rp 0,2	N/mm <sup>2</sup>	450
Yield strength, Rp 1,0	N/mm <sup>2</sup>	505
Tensile strength, Rm	N/mm <sup>2</sup>	620
Elongation, A5	%	35
Reduction of area Z	%	64
Impact energy, ISO-V	J	222
		159

**FN(DeLong)** WRC-1992  
 11,2 7

**Příloha 7** Technologický postup moření sprchovadla

  	FK-NA-02-1032
	<b>IN-EKO sprchovadlo</b>
Návodka laboratoř	

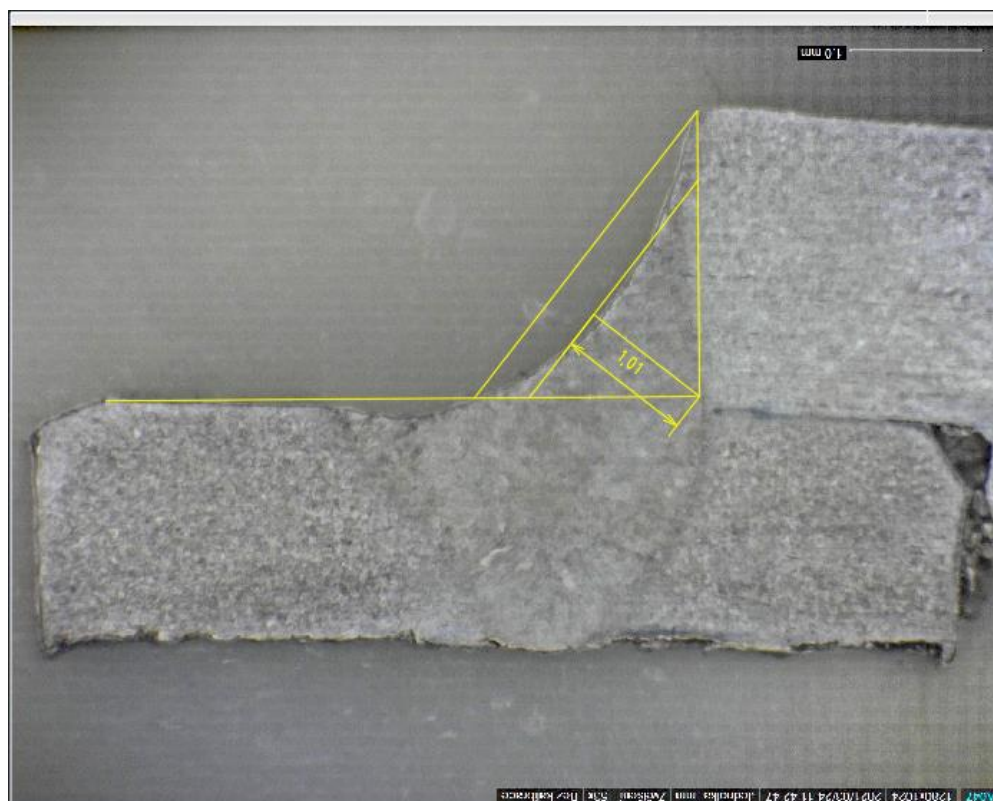
Zákazník	IN-EKO s.r.o.
Typ/číslo dílu	Sprchovadlo
Jakost materiálu	1.4301
Požadovaná norma	

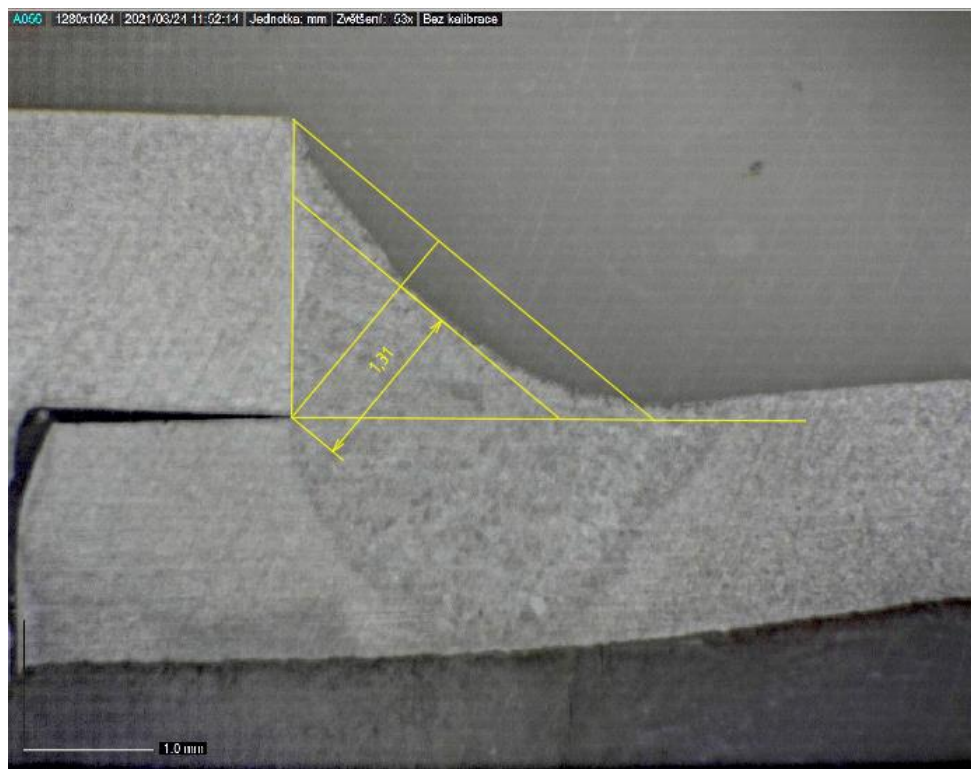
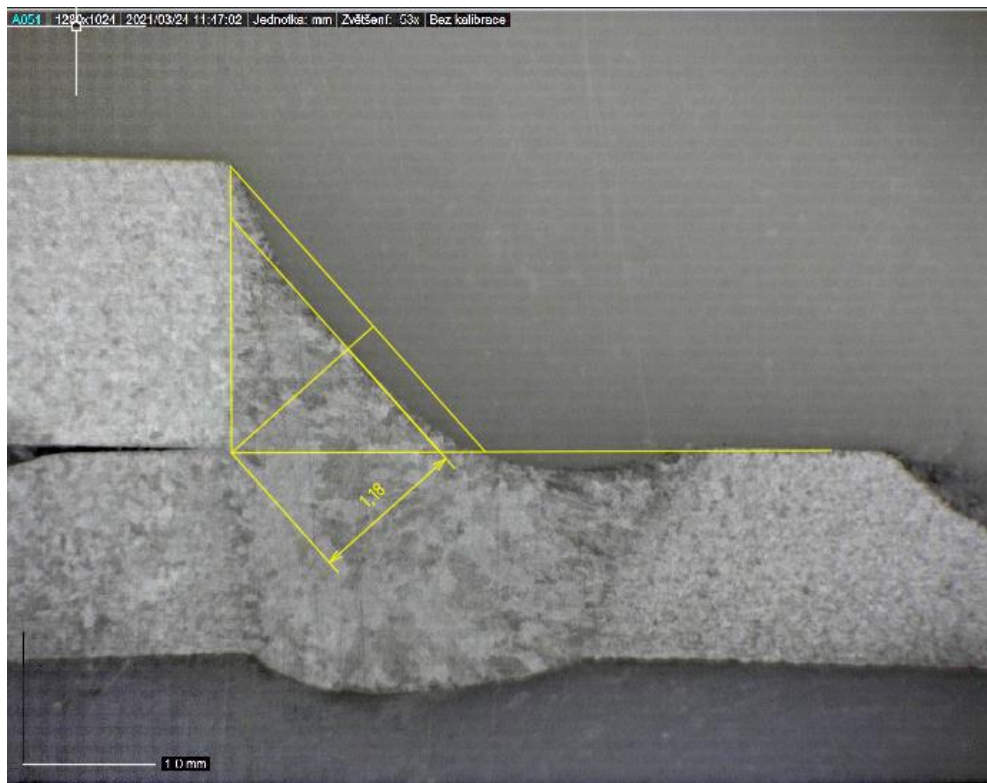
Postup práce:

Standardní TP	
Odmaštění	Dle potřeby (přípravek Aquaclean A125)
Oplach	Dle potřeby (obyčejná voda)
Moření	Lázeň austenit 10-15 min. Lázeň austenit: Složení cca 15% HNO <sub>3</sub> a 3% HF. Vhodná k moření austenitických ocelí a slitin hliníku. Lázeň používaná pro moření ve velkých mořicích vanách.
Oplach	Demivoda
Pasivace	Klasická pasivace min. 15 min. Složení lázně cca 25% HNO <sub>3</sub> , Obch. označení Antox 90E. Pasivace dle normy EN 2516 – třída C2. Vhodná na pasivaci austenitických ocelí.
Oplach	Demivoda
Poznámka	Moření max. 5-8 ks dohromady!

Účinnost od: 4. 9. 2020

**Příloha 8**    Doplňující metalografické vzorky





A041 1280x1024 | 2021/03/24 11:36:49 | Jednotka: mm | Zvětšení: 53x | Bez kalibrace



**Příloha 9**      Fotky vzorků skupiny B před a po moření







PŘED MOŘENÍM



PO MOŘENÍ



Příloha 10 pWPS dokumentace

Welding Procedure Specification acc. to EN ISO 15 609 -1		pWPS					
Specifikace svařovacího postupu dle EN ISO 15 609-1		8.1_8.1_141_FW_VUT					
<b>Welding Process/Metoda:</b> 1. 141 2.		<b>Supporting/Související PQR:</b>					
<b>Type of Weld/Typ svaru:</b> filled weld - manual / koutový svar - ruční		<b>Application/Aplikace:</b>					
<b>Backing/Podložka:</b> n.a.		<b>Manufacturer/Výrobce:</b> IN-EKO TEAM					
<b>Base metal / Základní materiál (acc. to/ dle EN ISO 15 608)</b>							
Material 1: X2CrNiMo17-12-2		Group/Sk.: 8.1	Outside Dia./Vnější $\phi$ : 6 mm				
Thickness/Tloušťka: 1,5 mm							
Material 2: X2CrNi18-9		Group/Sk.: 8.1	Outside Dia./Vnější $\phi$ : 18 mm				
Thickness/Tloušťka: 1,5 mm							
<b>Remark/Poznámka:</b>							
<b>Filler Material / Svařovací materiál:</b>		<b>Joint Design / Tvar spoje:</b>					
Classification: 1. EN ISO 14343-A 2.		<p>root spacing / kořenová mezera: 0=0,5 mm</p>					
Klasifikace: W 19 12 3 L Si							
Designation 1. 2.							
Označení: 1. 2.							
Size/Průměr: 1. 1,6 mm 2. mm							
Name-Type of Flux/Jméno-typ tavidla:							
Drying of F.M./Sušení svař. mat.: 1. n.a. 2.							
Replace/Náhrad: 1. 2.							
Remark/Poznámka:							
<b>Gas / Plyn:</b> Shielding/O. svaru: 1. 99,9 % 12-18 l/min 2. n.a. n.a. Backing/O. kořene: 1. n.a. n.a. 2. n.a. n.a. Trailing/Dodatečná: 1. n.a. n.a. 2. n.a. n.a. Remark/Poznámka: Ar 4,6 - I1 acc. to ISO EN 14 175 Replace/Náhrada:							
<b>Position / Pozice:</b> PB		<b>Design of bevel acc. to drawing / tvar úkosu dle výkresu</b>					
<b>Preheat / Předehřev:</b>		<b>Interpass:</b>					
Preheat Temp./Teplota předehřev: none °C		n.a. °C					
Device/Zařízení*		Remark / Poznámka:					
<b>Post Weld Heat Treatment / Tepelné zpracování po svařování:</b>							
Type/Typ: none		Temperature/Teplota: none °C					
Holding Time/ Čas výdrže:*		Heating Rate / Rychl. ohřevu*					
Cooling Rate / Rychl. ochlaz.*							
<b>Technique / Technika svařování:</b>							
Tungsten El./Wolframová elektroda: $\phi$ 2 mm		Type: WC20					
Replace/Náhrada: WL15							
Type of Bead/Tvar housenky:		tick Out / Výlet drátu: 1. max. 15 mm 2. n.a.					
Oscillation/Oscilace: 1. n.a. 2. n.a.		Pulsing/Pulzace: 1. n.a. 2. n.a.					
Edge Preparation/Příprava úkosu: machined / mechanicky							
Method of Cleaning/Metoda čištění: brushing, grinding / kartáčování, broušení							
Method of Back Gouging/Drážkování kořene: n.a.		Remark/Poznámka:					
<b>Welding Parameters / Svařovací parametry:</b>							
Layer(s)	Process	Filler Material/ Svařovací materiál	Type/Polarity	Amperage/Proud	Voltage/Napětí	Heat input/Vnesené teplo	Remakr
Vrstva	Metoda	$\phi$ (mm)	Klasifikace	(A)	(V)	(KJ/mm)	Poznámka
Root / Kořen	141	1,6	W 19 12 3 L Si	DC/-	23-38	0,25-0,40	
<b>Remarks / Poznámky:</b>							
Tack welding shall be performed accordance with W PS/ Stehování musí být provedeno v souladu s touto W PS.							
Repair welding has to be done according to this WPS/ Opravy svařování musí být provedeny dle této W PS.							



# **Příručka pro zákazníky**



Pro správný průběh mořicí operace je potřeba dodržovat určité základy, které tato technologie vyžaduje. Příručka má posloužit jako návod, kde budou vyobrazeny nejtýpější vady, respektive provedení součástí, kvůli kterým není možno zaručit bezchybné moření součástí.

Vady lze rozdělit do tří kategorií, a to konstrukční, materiálové a technologické.

## 1 Konstrukční vady

Mezi nejčastější závady patří uzavřený prostor, který však není vodotěsný, dále se jedná o nepřístupné šroubové spoje. Společným jmenovatelem těchto vad problém s dodatečným vytékáním zbytkové mořicí lázně (může se jednat až o týdny). Potopením součástí do lázně dojde k natečení kyseliny do takto nepřístupných míst a následně vlivem konstrukčního řešení nemůže dojít k správnému oplachu. Kyselina pak „moří“ součást i nadále a může dojít k potencionálnímu vzniku koroze.

Následující text udává nejčastější vady a doporučuje jejich řešení.

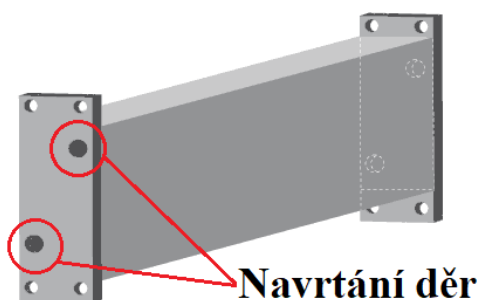
### 1.1 Uzavřený a netěsný prostor

Často se jedná o jekl, trubku či konstrukčním řešením vytvořený profil, který je uzavřen na obou koncích. V případě, že jsou konce uzavřeny svařem, se může stát, že svar není vodotěsný. Kvůli tomu do uzavřeného prostoru prosákne kyselina a následně dochází k jejímu vytékání.

**Řešení:** Konce trubek, jeklů či jiných profilů neuzavírat. V případě, že to konstrukční záměr neumožňuje, je potřeba se spojit s technikem firmy a konzultovat tuto skutečnost. Řešením bývá navrtání alespoň dvou děr, jejichž umístění určí technik.



Obr. 1 Ukázka uzavřeného a netěsného prostoru

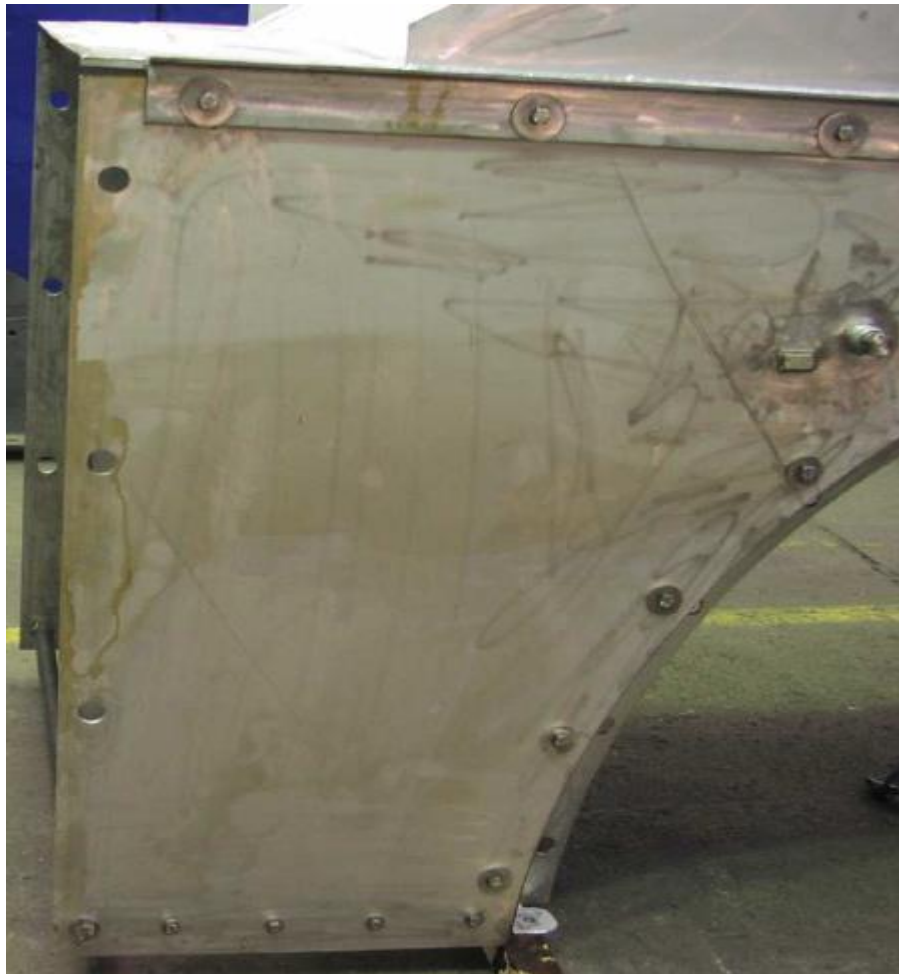


Obr. 2 Ukázka případného řešení

## 1.2 Šroubový spoj

Velmi podobná situace jako u uzavřeného prostoru, do spáry spoje nateče lázně a nemůže dojít k řádnému oplachu součásti. Kvůli této skutečnosti pak bude docházet k úniku lázně a kontaminaci již odmořené součásti.

**Řešení:** Šroubový spoj je potřeba před odvozem do mořírny rozebrat a umožnit tak správný technologický postup.



Obr. 1 Ukázka šroubového spoje, který by měl být pro správné vymoření demontován

## 1.3 Malé díry

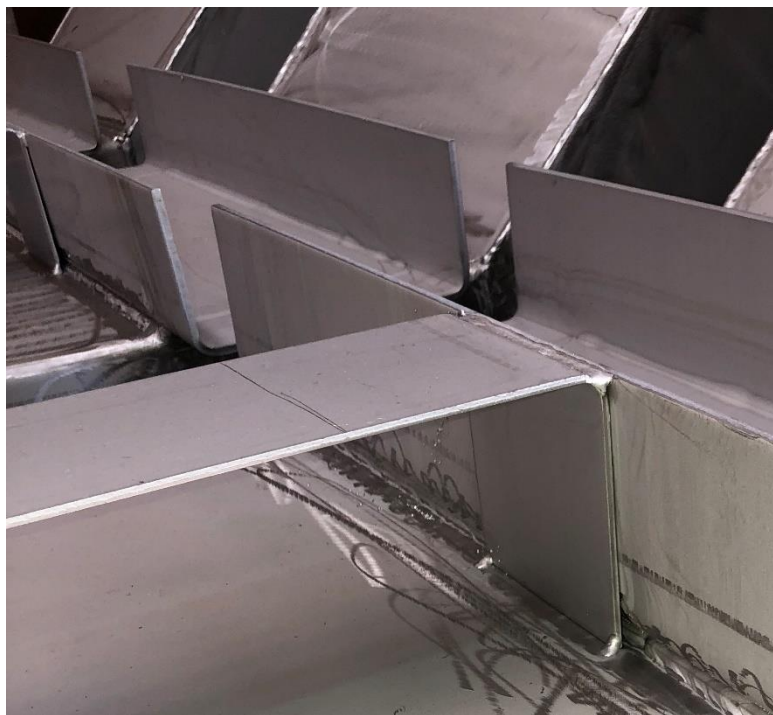
V případě, že se na součásti nacházejí menší díry, dochází v těchto místech ke vzniku blány vlivem povrchového napětí mořící lázně. Stejně jako v předchozích případech posléze dochází k ulpívání lázně na součásti, v případě dutých otvorů k jejímu následnému vytečení.

**Řešení:** V místech, kde je to konstrukčně možné, díry vrtat větší, aby nedošlo ke vzniku blány.

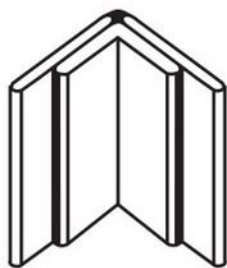
## 1.4 Překlávané spoje

V podstatě stejný efekt jako u šroubového spoje, lázeň nateče do nedostupných prostor, ze kterých později vytéká a znehodnocuje součást.

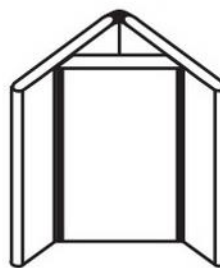
**Řešení:** Upravit konstrukci tak, aby vznikl volný prostor, který bude přístupný pro oplach.



Obr. 3 Příklad špatně řešeného překlávaného spoje



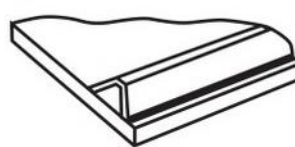
**Nevhodné řešení**



**Vhodné řešení**



**Nevhodné řešení**



**Vhodné řešení**

Obr. 2 Ukázka vhodných řešení pro moření

## 1.5 Křížení profilů

Velmi podobná situace jako u přeplátovaného spoje, v místě, kde se kříží např. různé konstrukční profily může lázeň zatéci mezi tyto plochy. Ať už je spoj v místě křížení svařený či nikoli.

**Řešení:** V případě křížení profilů se svary je vhodné vynechat část svaru, aby touto mezerou mohla lázeň vytéct, případně zhotovit vodotěsné svary. Pokud dochází ke křížení konstrukce bez svarů, je vhodné (pokud to z konstrukčního hlediska lze) vytvořit v místě křížení mezeru, aby nedocházelo k vzájemnému styku profilů, lázeň je pak snadno opláchnutelná.



Obr. 4 Příklad nevhodného křížení profilů

## 2 Materiálové vady

Každý typ oceli, zvláště pak korozivzdorných (austenitická, feritická, martenzitická, nebo duplexní) se moří v odlišné směsi kyselin. Je třeba dbát na to, aby finální výrobek obsahoval pouze jeden typ výše zmíněné oceli. V případě, že dojde k záměně materiálu (základního či přídatného) dojde k jeho degradaci až destrukci.

Pro eliminaci případných potíží je vhodné k objednávce přiložit také atesty materiálu jednotlivých součástí. V praxi se mořična potýká s následujícími typy problémů.

### 2.1 Záměna základního materiálu

Většina nerezových ocelí, které se moří je austenitického typu. Pokud je do součásti přidána např. feritická ocel, dojde k jejímu rozpuštění.

**Řešení:** Součásti navrhovat z jednoho typu oceli, kontrolovat průběh výroby, aby nedošlo k záměně materiálu.



Obr. 5 Ukázka záměny materiálu

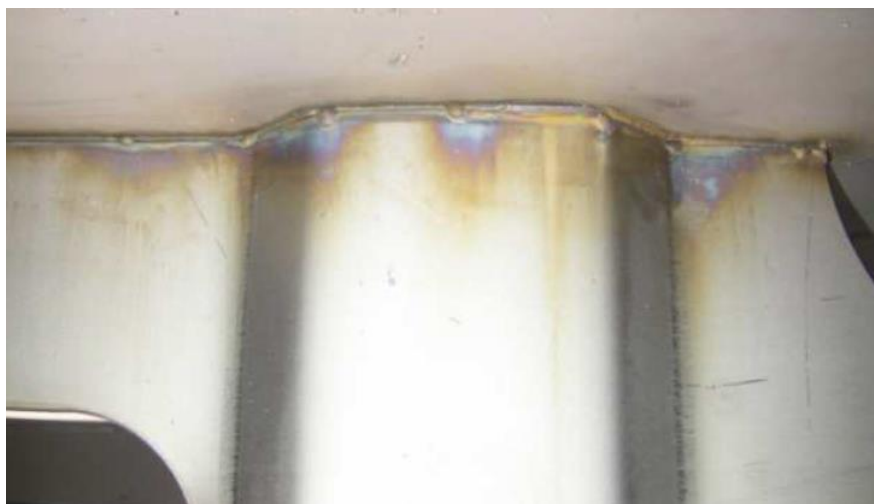
## 2.2 Záměna přídavného materiálu

Podobná situace jako u předchozího typu. V případě, že je např. austenitická ocel svařována jiným korozivzdorným přídavným materiálem (elektrodou), či snad pouze uhlíkovou, opět dojde k narušení či úplnému rozpuštění tohoto materiálu.

**Řešení:** Správně volit přídavné dráty a elektrody při svařování, proškolit svářečský personál.



Obr. 6 Ukázka kompletně rozpuštěného přídavného materiálu



Obr. 7 Příklad částečně rozpuštěného materiálu elektrody

**Celkové doporučení:** Zákazník by měl FK systému dodat potřebné materiálové listy. A to zejména od základního materiálu a také od přídavných materiálů (dráty, elektrody).

### 3 Technologické vady

Jelikož jedním z cílů moření je odstranění oxidických vrstev po svařování, mnoho problémů vzniká právě na základě špatného provedení svařovacího procesu. Ať už se jedná o porézní svary, zápaly, trhliny, zbytky strusky či nadměrný rozstřík. V důsledku těchto vad opět nemusí dojít ke 100% dokonalému odmoření dané součásti. Níže jsou uvedeny často se opakující vady a návod, jak jim předejít. Většině vad se lze vyvarovat dodržáním správného technologického postupu svařování.

#### 3.1 Rozstřík svarového kovu

Při nevhodném svařovacím postupu dojde během svařování k nadměrnému rozstříku materiálu. V okolí svaru se poté nachází řada různě velkých kuliček. Přestože se jedná o vizuální vadu a nemusí nutně znamenat špatné provedení svaru, jsou kuličky problémové, pokud jsou po moření odstraněny. Povrch pod nimi nebyl mořen a může se stát korozně rizikovým.

**Řešení:** Změnit parametry svařování (složení plynu, tloušťka drátu, snížit proud, správná polarita elektrody), čímž dojde k eliminaci rozstříku. Případně použít speciální spreje, které se aplikují na okolí svaru a následně zabraňují jejich ulpění na povrchu součásti. Jedná se o dražší řešení, nicméně velmi efektivní.



Obr. 8 Ukázka rozstříku svarového kovu

### 3.2 Trhliny

V případě vzniku trhlin (za horka, za studena, kráterové trhliny) na povrchu dojde k zatečení lázně do těchto mezer. Lázeň odtud může vytékat, či zůstat delší dobu v trhlíně a vytvořit tak korozně rizikové prostředí. Obecně jsou však trhliny ukazatelem toho, že proces svařování neproběhl správně a je na zvážení, zda takový výrobek vůbec expedovat na moření.

**Řešení:** Identifikace typu trhliny (ČSN EN ISO 6520) a následné upravení technologického procesu dle určeného typu.



Obr. 9 Příklad kráterové trhliny



Obr. 10 Ukázka trhliny za studena

### 3.3 Zatavená struska či jiné vměstky

Pokud nedojde k řádnému očištění strusky mezi jednotlivými vrstvami housenek nebo struska předbíhá oblouk a dojde k jejímu zatavení do svaru není možné svar od strusky očistit mořením. Kromě strusky se může jednat např. o vměstky kovu (např. wolframu) při doteku elektrody s tavnou lázní.

**Řešení:** Důkladně očistit vzniklou strusku při kladení více housenek, či napojování na přechozí svar. Případně úprava svařovacích procesů po domluvě s technologem.



Obr. 12 Ukázka zatavené strusky

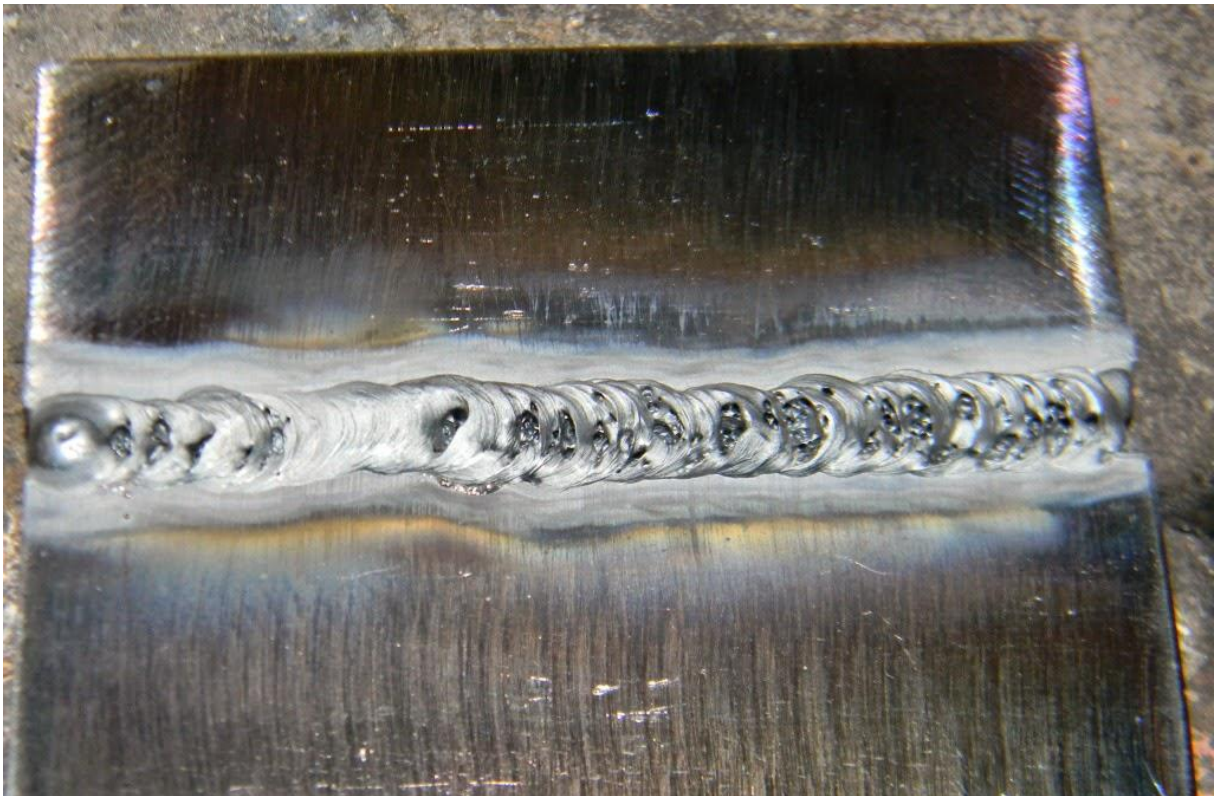


Obr. 11 Další příklad zatavené strusky

### 3.4 Póry

Póry ve svarech jsou z hlediska moření stejně problémové jako trhliny, lázeň zatéká do skulin a následně se postupně rozlévá a vytváří potenciálně korozně rizikové místo. Póry vznikají např. při vysoké rychlosti svařování, navlhčení obalů elektrod, rychlým chladnutím lázně při použití malého proudu.

**Řešení:** Snížit rychlost svařování, vysušit elektrody, zvýšit svařovací proud. Nejlépe konzultovat postup se svařovacím technologem.



Obr. 13 Příklad pórovitého svaru

### 3.5 Studené spoje

Při studeném spoji nedojde ke správnému provaření svaru a mezi jednotlivými součástmi tak vzniká mezera. Do této mezery se následně dostává mořící lázeň, která stejně jako v předešlých případech následně vytéká a vytváří rizikové místo z hlediska koroze. Příčinou je převážně nízký svařovací proud, velká rychlost svařování či malý průměr elektrody (drátu).

**Řešení:** Zvýšit svařovací proud, snížit rychlost svařování nebo zvýšit průměr elektrody. Postup stejně jako výše konzultovat se svařovacím technologem.



Obr. 14 Ukázka studeného spoje a vytečené lázně v oblasti svaru



Obr. 15 Další příklad studeného spoje

**Celkové doporučení:** Zákazník by měl ke svařovaným výrobkům dodávat výrobní dokumentaci (WPS). Dále pak protokoly o provedených NDT zkouškách (vizuální, rentgenová, kapilární atd.), zejména jedná-li se o součásti jako tlakové nádoby, kde jsou na kvalitu a vyhodnocení svaru kladeny vysoké požadavky v souladu s normou ČSN EN ISO 5817.

Výše zmíněné vady jsou ty nejtypičtější, se kterými se mořirna potýká, dochází k mnohým dalším problémům, nicméně nelze je všechny vyjmenovat a popsat. Obecně lze říct, že při dodržení správných technologických postupů při výrobě součástí (zejména pak svařování), které se následně budou mořit, je riziko problémů velmi malé.

Kromě zmíněných vad je pro dokonalý výsledek moření důležitý také aspekt přepravy součásti, a to jak do mořirny, tak i zpět k zákazníkovi. Při nakládce je třeba dávat pozor, aby součást nebyla poškrábána vidlemi vysokozdvížného vozíku, může pak dojít ke kontaminaci korozivzdorné oceli (uhlíkem) a ta následně ztratí svou odolnost vůči korozi. Rovněž je třeba dbát na správné zakrytí součásti během samotné přepravy, a to zejména v zimních měsících, kdy jsou silnice ošetřovány posypovou solí. V případě, že je součást špatně zakryta, může se sůl dostat na součást a znehodnotit ji.

**Doporučení:** Při přepravě dbát na zakrytí nákladního automobilu (nepoužívat odkryté valníky), pokud tomu tak není, správně zabalit součásti před přepravou.

V případě dotazů a nejasností je nejlepší se obrátit přímo na techniky FK systému a konzultovat případné problémy a jejich řešení s nimi.

## **Seznam použité literatury:**

- 1.** KALNÝ, Richard. *Moření a pasivace nerezových ocelí* [online]. Brno, 2013 [cit. 2021-5-4]. Maturitní práce. Gymnázium Brno-Řečkovice. Vedoucí práce Michal Kuňák, Petr Kalný.
- 2.** MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- 3.** ČSN EN ISO 5817: *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě laserového a elektronového svařování) - Určování stupňů kvality*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- 4.** BARTÁK, Jiří. Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 2012, 2012 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
- 5.** Design and fabrication of structures. *Nordic Galvanizers* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <http://nordicgalvanizers.com/c/>