ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Navržení postupu svařování při opravách síta alkalizačního lisu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Jan Vazač

Studijní program: Výrobní a materiálové inženýrství

Studijní obor: Technologie

Vedoucí práce: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE

Konzultant: Ing. David Mrázek

Praha 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vazač** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **364221**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**

Studijní program: **Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Navržení postupu svařování při opravách síta alkalizačního lisu.

Název diplomové práce anglicky:

Design of the welding process for repair of the alkalization press sieve.

Pokyny pro vypracování:

Popis činnosti alkalizačního lisu a technická specifikace
Současný stav postupu svařování oprav
Rozbor vzniku trhlin na sítu
Návrh zlepšení postupu při opravách

Seznam doporučené literatury:

Odborná literatura, normy

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Karel Kovanda, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: **27.10.2017** Termín odevzdání diplomové práce: **12.01.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **12.01.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

9. 11. 2017	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne..... .....

Podpis

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Kovandovi Ph.D., IWE za pomoc a vedení při mé diplomové práci, cenné rady a mnoho trpělivosti. Poděkovat chci také panu Ing. Mrázkovi za poskytnutí zázemí na provedení praktické části a rady při tvorbě práce. Poděkování patří také mé rodině za podporu během celého studia.

Anotace

Název práce: Navržení postupu svařování při opravách síta alkalizačního lisu

Autor: Jan Vazač

Druh práce: Diplomová

Vedoucí práce: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE,
Ústav strojírenské technologie, ČVUT v Praze

Anotace:

Práce se zaměřuje na problematiku vzniku a šíření trhlin korozivzdorných sít, které se objevují během provozu alkalizačního lisu, na svařování a renovaci těchto sít a jimi pokrytých lisovacích válců. V teoretické části se zabývá vývojem a historií technologie svařování, jejím rozdělením a terminologií svaru. Dále se práce zabývá korozivzdornými materiály, jejich rozdělením a chemickým složením, druhy korozí a výrobě a zpracování celulózy.

V praktické části jsou veškeré informace o lisu, na kterém byla práce řešena. Dále jsou shrnuty požadavky práce a popsána problematika vzniku a šíření trhlin na zmíněných sítech. Bylo provedeno několik analýz a měření, která vedla k určení vhodnosti základních a přídavných materiálů. Na základě těchto výsledků a porovnání byly doporučeny změny některých materiálů a postupů či technologií.

Pro zajištění ideálních výsledků práce bylo doporučeno i na dále mapovat problematiku vzniku trhlin po změně vstupních parametrů, veškeré informace zapisovat a statisticky vyhodnotit optimální řešení další renovace lisu.

Klíčová slova: Svařování, celulóza, korozivzdorná ocel, praskání

Rozsah práce: 56 stran

Počet obrázků: 26 obrázků

Počet tabulek: 23 tabulek

Annotation

Thesis title: Design of the welding process for repair of the alkalization press sieve

Author: Jan Vazač

Kind of work: Diploma

Supervisor: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE,
Ústav strojírenské technologie, ČVUT v Praze

Annotation:

The main focus of this diploma thesis is the origin and spread of the corrosion cracks that occur during the operation of alkalization press on stainless sieves, the welding technology and renovation these sieves and with them covered press roll. The theoretical part deal with development and history of welding technology, its distribution and terminology of welding. Further, the thesis deals with corrosion resistant materials, their selection and chemical composition, types of corrosion and the fabrication and treatment of cellulose.

In practical part of this work there are all information about the press on which is the work based. Further, requirements of the work are summarized and the problems of crack formation and spreading on mentioned sieves is described. Several analyzes and measurements have been made, carried out determination for suitability of the basic material and filler materials. Based on these results and comparisons, changes to some materials and procedures or technologies have been recommended.

In order to ensure ideal work results, it was recommended to further map the problem of cracks after changing the input parameters, to write down this information and statistically evaluate the optimal solution for further refurbishment of the press.

Key words: Welding, cellulose, stainless steel, cracking

Scope of work: 56 pages

Number of pictures: 26 images

Number of tables: 23 tables

Obsah

ZADÁNÍ 2
Prohlášení: 3
Poděkování: 4
Anotace 5
Annotation 6
Obsah 7
Seznam použitých zkratek, jednotek a symbolů 9
Úvod 10
TEORETICKÁ ČÁST 11
1. Technologie svařování 11
1.1. Historie svařování 11
1.2. Technologie svařování elektrickým obloukem 12
1.3. Svarový spoj 12
2. Korozivzdorné materiály 13
2.1. Koroze 13
2.2. Korozivzdorné oceli 16
2.3. Rozdělení korozivzdorných ocelí 16
2.4. Svařitelnost austenitických ocelí 18
Vznik heterogenního svarového spojení 18
3. Výroba a zpracování celulózy 19
3.1. Technologie výroby viskózového vlákna 20
PRAKTICKÁ ČÁST 21
4. Popis lisovacího zařízení: 21
5. Současný stav a požadavky 23
6. Základní materiály 27
6.1. Základní materiál válce 27
6.2. Základní materiál sít 28
Spektrální analýza materiálu sít 28
Spektrální analýza korozních zplodin 30
Spektrální analýza svarového kovu 31
6.3. Nově použitý materiál sít 33
7. Alternativní materiály 34
7.1. Alternativní základní materiály sít 34
8. Volba přídavného materiálu 37

8.1. Přídavný materiál pro experimentální část ... 37
8.2. Alternativní přídavné materiály ... 37
9. Tepelné zpracování – žíhání ... 39
10. Navaření přechodových vrstev ... 40
10.1. Materiály přechodových vrstev ... 41
11. Postup svařování ... 41
11.1. Technologie svařování ... 41
TIG ... 41
MIG/MAG ... 43
11.2. Technické plyny ... 43
12. Návrh změn procesů ... 45
12.1. Záměna výroby sít ... 45
12.2. Změna geometrie sít ... 45
12.3. Ochrana průvaru kořene ... 47
12.4. Doporučený postup svařování ... 48
13. Doporučení zavedení pravidelných kontrol ... 49
Diskuse výsledků a doporučení ... 51
Závěr ... 52
Seznam obrázků ... 53
Seznam tabulek ... 53
Seznam použité literatury ... 54

Seznam použitých zkratek, jednotek a symbolů

A	Tažnost
Ar	Argon
C	Uhlík
CO_2	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
Cr_E	Chromový ekvivalent
H	Vodík
He	Helium
K	Draslík
MKK	Mezikrystalová koroze
Mn	Mangan
Mo	Molybden
N	Dusík
NaOH	Hydroxid sodný
Na_2S	Sulfid sodný
Ne	Neon
Ni	Nikl
Ni_E	Niklový ekvivalent
P	Fosfor
PM	Přídavný materiál
PT	Penetrant Testing – penetrační zkouška
Rm	Pevnost v tahu
S	Síra
Si	Křemík
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
VT	Visual Testing – vizuální zkouška
ZM	Základní materiál

Úvod

Viskózové vlákno je nejčastěji využíváno v gumárenském, technickém a chemickém průmyslu. Směs celulózy a hydroxidu sodného chemickými reakcemi vytvoří xantogenát celulózy, ze kterého se dále mícháním a dispergací vytvoří viskóza. Viskóza je nenewtonovská kapalina. Spřádacím procesem se z viskózy vyrobí hotové viskózové vlákno.

Chemikálie v procesu zapříčiňují depolymerizaci celulózy. Pro řízení této depolymerizace se využívá kontinuální lis, kde se odloučí přebytečný louh. Lis se skládá ze dvou souběžných válců, na které jsou přivařena vrtaná síta.

Materiál sít je korozivzdorná austenitická ocel, což je materiál obvykle s dobrou svařitelností při dodržení předepsaných postupů a metod svařování pro optimální vlastnosti svaru. Materiál válců je běžná ocel s dobrou svařitelností. Přídavným materiálem a ochranným plynem lze dosáhnout určitého dolegování a zlepšení vlastností svarového kovu. Při nedodržení optimálních podmínek svařování se mohou objevit vady, trhliny a koroze svarů.

Svar tvořený dvěma různými základními materiály se nazývá heterogenní spoj. Je to jednoduchá možnost, jak v průmyslu kombinovat více materiálů k vyhotovení jednoho výrobku. Nejčastější využití má v místech, kde je potřeba kombinovat fyzikální a chemické vlastnosti, dalším důvodem je například požadavek na nízkou cenu konečného výrobku.

Cílem práce je seznámení se s problematikou heterogenního svařování válce a vrtaných sít, zmapovat problematiku vznik trhlin a porušení svarů, provést optimalizaci vstupních parametrů svařování a opatření, které sníží nebo zcela zamezí vzniku dalších porušení a trhlin. Do těchto změn zahrnout následující:

- Volbu základního materiálu
- Volbu přídavného materiálu
- Technologii zpracování svaru
- Technologický postup svařování
- Parametry svařování
- Tepelné zpracování po svařování
- Změna geometrie sít

Z těchto parametrů vybrat nejvhodnější a navrhnout konečné doporučení.

TEORETICKÁ ČÁST

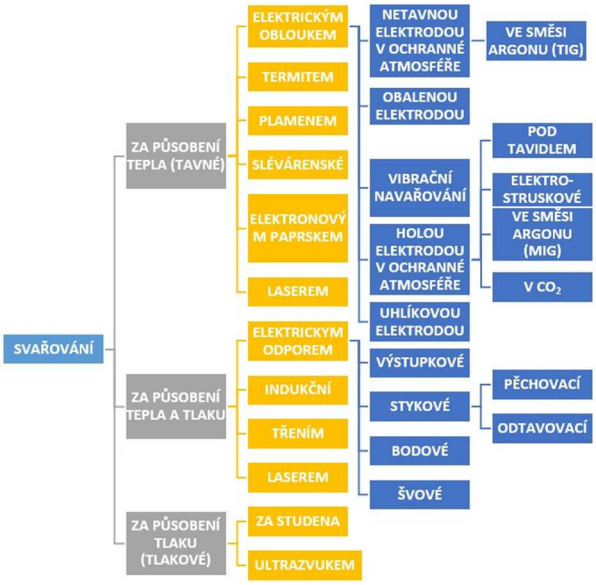
1. Technologie svařování

Svařováním kovů vzniká nerozebíratelné spojení dvou stejnorodých nebo různorodých materiálů kovových i nekovových. Svařováním vznikají větší a tvarově složitější konstrukce, které oproti odlévaným nebo tvářeným mají menší spotřebu materiálu a zjednodušuje realizaci daných projektů. Mezi hlavní nevýhody patří nerozebíratelnost, změna chemických a mechanických vlastností, vznik pnutí a deformací.

1.1. Historie svařování

Nejstarší metody svařování jsou svařování slévárenské a kovářské, které se využívali již v době železné. Koncem 19. století byly rozvinuty tři hlavní modely svařování: elektrickým obloukem, plamenem a odporové svařování. Tyto byly dále aplikovány a rozvíjeny. Rozdělení hlavních modelů svařování je v tabulce č.1.

Tabulka 1 - Rozdělení svařovacích postupů



První využití elektrického oblouku ke svařování aplikoval Auguste De Maritens ve Francii pro svařování olověných desek akumulátorů. Svařování se provádělo uhlíkovým elektrodami. Dále se svařování elektrickým obloukem rozvíjelo s novými typy zdrojů a technologiemi:

- Svařování elektrickým odporem
- Svařování pod tavidlem
- Svařování elektrostruskové
- Svařování v ochranné atmosféře Ar
- Svařování v ochranné atmosféře CO_2

[1, 2, 3]

1.2. Technologie svařování elektrickým obloukem

Tavným svařováním dochází k roztavení základního materiálu svařovaných dílů sestavy, materiály těchto dílů se promíchají a dále tuhnou a vznikne svar. U většiny technologií svařování se používá přídavný materiál k vyplnění prostorů, kde je nedostatek základního materiálu.

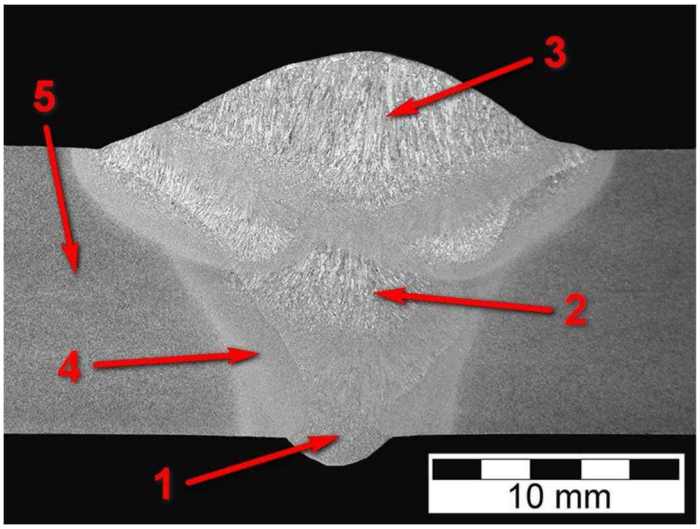
Rozdělení aktuálních technologií svařování elektrickým obloukem:

- Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)
- Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu (114)
- Svařování pod tavidlem (121)
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (131)
- Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (135)
- Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (137)
- Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atm. (141)
- Svařování plazmové (15)

1.3. Svarový spoj

Svarový spoj může být homogenní nebo heterogenní. Homogenním spojem je trvalé spojení dvou dílců ze stejnorodého materiálu, oproti tomu spoj heterogenní je spojením dvou materiálů o různém chemickém složení.

Na obrázku č.1 je vyobrazený homogenní svarový spoj v řezu, je složený z 5 housenek a dále jsou označeny části svarového spoje.



Obrázek 1 - Svarový spoj: 1 – kořenová vrstva, 2- výplňová vrstva, 3 – krycí vrstva, 4 – tepelně ovlivněná oblast, 5 – základní materiál

[2, 3]

1.3.1. Základní materiál

Základním materiálem se rozumí materiál dílce nebo svařence. Tento materiál se dopředu volí s ohledem na použití a následnou svařitelnost.

1.3.2. Přídavný materiál

Přídavný materiál vyplňuje prostor mezi svařovanými materiály, aby nedocházelo k propadu nebo zeslabení struktury svařence a snížení mechanických vlastností. Přídavný materiál se chemickým složení volí tak, aby se nejvíce blížil chemickému složení základnímu materiálu. Je zde možné i využití dolegovávacího efektu, kdy se v přídavném materiálu zvyšuje množství určitých prvků pro zvýšení mechanických vlastností svaru.

1.3.3. Svar

Vzniká spojením základního a přídavného materiálu při jejich natavení a následném tuhnutí. Po svařování často dochází k pnutí a deformacím, kterým lze zamezit vhodně zvoleným předehřevem, dohřevem nebo žíháním. Svar má dendritickou strukturu a hrubé zrno zapříčiněné vneseným teplem a následně rychlým ochlazením.

1.3.4. Tepelně ovlivněná oblast

Část svaru, kde nedošlo k tavení materiálu, ale struktura byla vystavena působení vysoké teploty během svařování. Tato oblast materiálu je náchylná k hrubnutí zrn a křehké struktuře – vlivem těchto změn dochází k degradaci mechanických vlastností materiálu. Ve svarovém spoji je TOO nejvíce náchylná k tvoření vad a poruch.

[3, 4]

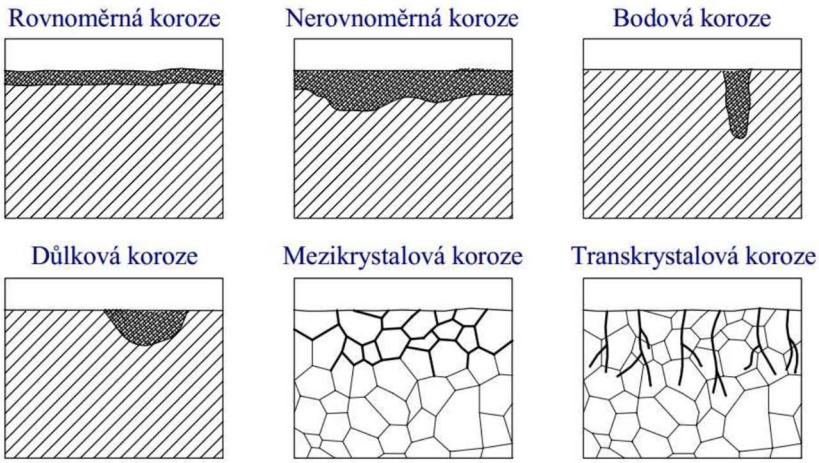
2. Korozivzdorné materiály

Diplomová práce se zabývá problematikou svařovaní ocelí. Zaměřuje se převážně na korozivzdorné oceli, které svými vlastnostmi odolávají různým druhům korozního napadení.

2.1. Koroze

Koroze – samovolné znehodnocení a degradace materiálu. Vzniká fyzikálně-chemickou interakcí dvou různých, navzájem reagujících materiálů. Touto interakcí dochází ke změnám struktury, vzhledu a pevnosti materiálu, úbytkům hmotnosti a změně rozměrů. Korozi nepodléhají i materiály nekovové.

Dělí se podle charakterů probíhajících dějů – koroze chemická a elektrochemická. Další dělení je podle druhu napadení materiálu – schématické znázornění je na obrázku č.2.



Obrázek 2 - Dělení koroze podle druhu napadení materiálu

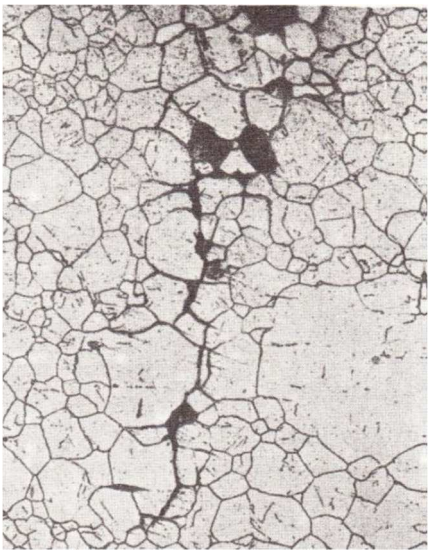
[5, 6, 7]

2.1.1. Koroze mezikrystalová a korozní praskání

Koroze mezikrystalová a transkrystalová

Koroze mezikrystalová, zobrazena na obrázku č.3, napadá hranice mezi krystaly materiálu, zatím co koroze transkrystalová probíhá současně i v zrnech samotných. Jedná se o nebezpečnou formu koroze, protože nemusí být vidět z povrchu součásti. Nejčastěji této korozi podléhají slitiny různých materiálů, kde dochází ke změnám struktury na hranicích zrn, nejčastěji následkem stárnutí nebo tepelného zpracování materiálu.

U korozivzdorných ocelí může této korozi podléhat materiál v blízkosti svarů a jejich okolí, kde je tato reakce způsobena ohřevem v kritické oblasti a následnému ochuzení o chrom, který je nezbytný pro zachování korozivzdornosti.



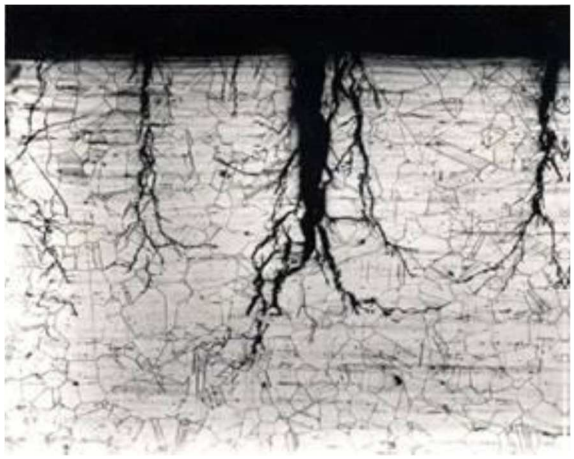
Obrázek 3 - Mezikrystalová koroze

[6, 7]

Korozní praskání pod napětím

Korozní praskání je jedním z typů porušení kovového materiálu, které je vyvoláno působením prostředí. Nejedná se tedy o poškození prostým mechanickým namáháním. Ke koroznímu praskání slitin (čisté kovy jsou odolné) dochází současným působením mechanického tahového napětí a specifického prostředí. Při korozním praskání vznikají a rostou v materiálu trhliny, které vedou k prasknutí připomínajícímu křehký lom. Trhliny se šíří ve struktuře kovu buď po hranicích zrn (obrázek č.4) nebo přes zrna (obrázek č.5).

Obrázek 4 - Korozní praskání mezirkystalové



Obrázek 5 - Korozní praskání transkrystalové

[6, 7]

Korozní praskání je technicky velmi významný druh korozního napadení, který může vést k náhlému a nečekanému selhání kovových konstrukcí a zařízení. Pro vznik korozního praskání není vždy nutné vnější mechanické namáhání, ale stačí jen vnitřní pnutí například po tváření za studena nebo po svařování. Místem vzniku této koroze může být koroze na povrchu, který vyvolá lokální napadení. Častým případem je porucha pasivní vrstvy, která dále vede k bodové korozi a předurčuje korozní praskání.

Mezi riziková korozivní prostředí pro austenitické oceli patří i kombinace NaCl a NaOH za vyšších teplot. Oceli duplexní jsou náchylné ke korozi v prostředích totožných s ocelemi austenitickými, avšak jsou řádově odolnější.

Ochrana před korozním praskáním spočívá ve snížení tahových napětí v materiálu (například změnou konstrukce nebo tepelným zpracováním pro snížení pnutí), odstranění specifických korozivních složek z prostředí, nebo ve změně složení kovového materiálu. Své využití nachází i elektrochemická ochrana, kde se materiál chrání přidáním chemických inhibitorů do kontaktního prostředí. Elektrochemická ochrana je v případě řešení této DP nemožná, protože by se změnilo zastoupení chemikálií v procesu zpracování celulózy.

[6, 7, 8]

2.2. Korozivzdorné oceli

Korozivzdorná ocel – ocel vysoce legovaná (více jak 10 % legujících prvků), má schopnost odolávat chemické a elektrochemické korozi. I s těmito vlastnostmi mohou oceli korodovat, jejich životnost je však zvýšená a koroze prostupuje materiálem velmi pomalu, některé druhy koroze nemusí vzniknout vůbec.

Na této oceli vzniká pasivační vrstva, která vede k zvýšení odolnosti a ochraně materiálu. Při mechanickém poškození se na obnaženém místě tato vrstva, po opětovném vystavení oceli okolnímu prostředí, znovu vytvoří a chrání tak materiál proti dalšímu šíření koroze. Tato vrstva na materiálu vzniká při obsahu Cr nad 11,7 hm%. Stálost oceli se zvyšuje se zvyšujícím obsahem Cr. Další nejrozšířenější legurou korozivzdorných ocelí je Ni, který podporuje pasivační vrstvu. Dále Mo, který zvyšuje odolnost proti bodové korozi a proti mezikrystalové korozi.

2.3. Rozdělení korozivzdorných ocelí

Na vlastnosti korozivzdorných ocelí má největší vliv chemické složení. Legující prvky pak dělí oceli do 4 základních skupin, a to podle struktury materiálu. Toto rozdělení je vyobrazeno v tabulce č.2.

Tabulka 2 – Rozdělení korozivzdorných ocelí

Struktura	**Hlavní legující složky**
feritická	Cr
martenzitická	Cr, C nebo Ni
austenitická	Cr, Ni, Mo
austeniticko-feritická	Cr, Ni, Mo (vyšší obsahy Cr a nižší Ni než oceli austenitické)

Vliv základních legujících prvků korozivzdorných ocelí:

- Chrom: zajišťuje pasivovatelnost ocelí (obsah minimálně 11,5%) a odolnost proti oxidaci, s rostoucím obsahem Cr se zvyšuje korozivzdornost v oxidačním prostředí
- Nikl: stabilizuje austenit za normální teploty a zvyšuje korozní odolnost v redukčních kyselinách, druhý nejdůležitější prvek korozivzdorných ocelí, bývá nahrazován manganem
- Mangan: austenitotvorný prvek, při vyšším obsahu nad 3 % snižuje náchylnost k praskání svarů, zhoršuje obrobitelnost

- Dusík: silně austenitotvorný jako uhlík, zvyšuje pevnostní hodnoty, s Mo snižuje riziko bodové a štěrbinové koroze
- Křemík: vyvolává praskavost svarů, při koncentraci 3 až 4 % snižuje riziko mezikrystalické korozi a zvyšuje odolnost ve vroucí HNO_3
- Molybden: zvyšuje odolnost ve všech korozivních prostředích, zvyšuje žárupevnost, feritotvorný prvek,
- Měď: austenitotvorný prvek, zvyšuje korozní odolnost v prostředích s H_2SO_4, zlepšuje obrobitelnost, přidává se do vytvrditelných ocelí
- Titan a Niob: karbidotvorné prvky, stabilizace ocelí díky afinitě k uhlíku, přidávají se do vytvrditelných ocelí

[9, 10, 11]

2.3.1. Feritická ocel

Feritické struktury se dosáhne zpracováním při teplotách 750-900 °C. Obsah Cr je 13-30 %. Nevýhodou těchto ocelí je křehnutí při teplotách nad 800 °C, často se projevuje při svařování bez dalšího tepelného zpracování. Pro takové případy se používá ocel s obsahem Cr nad 17 % a dalšími prvky, jako je Ti a Ni, které podporují stabilizaci ocel. Mezi výhody patří vysoká odolnost proti transkrystalove korozi i při vyšším mechanickém zatížení.

2.3.2. Martenzitická ocel

Obsah Cr do 18 %, díky čemuž tato ocel dosahuje přeměny austenitu na martenzit i při chladnutí volně na vzduchu z teploty A_{c3}. Používají se v běžných korozivních podmínkách. Tyto oceli s vyšším obsahem C se používají na řezné nástroje v potravinářském, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu. Tyto oceli mají podmíněnou svařitelnost.

2.3.3. Austenitická ocel

Nižší obsah C, obsah Cr je 16–22 %, Ni 8-40 % a Mo méně než 5 %. Dále se používají legující prvky jako Ti, Nb, Cu, Si a N. Tyto oceli jsou tvárné, mají vysokou tažnost a houževnatost i za nízkých teplot. Austenitické struktury lze dosáhnout i pod bodem mrazu. Tyto oceli jsou nemagnetické, mají nejčastější využití v chemickém a potravinářském průmyslu. Lze využít i pro transport zkapalněných plynů. Tvářením za studena se zvyšuje jejich pevnost.

2.3.4. Austeniticko-feritická ocel

Dvousložková – duplexní ocel kombinuje vlastnosti obou složek, ocel je tak houževnatá i při zachování vysoké pevnosti. Podíl těchto složek je závislý na přítomnosti legur. Obsah feritu je v oceli 30-50 %, ideálně pak 50 %. Nevýhodou těchto ocelí je stárnutí, ke kterému dochází

při vystavení teplotám nad 750 °C, a křehnutí, ke kterému dochází při cyklickém ohřevu mezi teplotami 350-550 °C.

Svařitelnosti korozivzdorných ocelí

Hlavní technickou vlastností, při tvorbě svarového spojení, je svařitelnost materiálu. Tato vlastnost závisí na chemickém složení a geometrickém tvaru spojovaných dílců sestavy. Svařitelnost nám udává, za jakých podmínek je možné vytvořit spojení předepsané kvality a požadovaných vlastností. Mluvíme-li o ideální nebo zaručené svařitelnosti, jedná se o svařování bez dalšího externího omezení. Svařitelnost omezená oproti tomu vyžaduje úpravu vstupních hodnot jako jsou: předehřev, dohřev, teploty interpass a další.

Oceli korozivzdorné lze svařovat jako běžnou konstrukční uhlíkovou ocel s patřičným omezením nebo úpravou vstupních parametrů v závislosti na typu svařované korozivzdorné oceli.

[11, 12]

2.4. Svařitelnost austenitických ocelí

Austenitické oceli mají, oproti ocelím uhlíkovým a nízkolegovaným, vyšší houževnatost a tažnost. Nevýhodou těchto ocelí je, že mají vysokou tepelnou roztažnost a nižší tepelnou vodivost oproti běžným konstrukčním i ostatním korozivzdorným ocelím. Tyto oceli jsou tak náchylnější k větším deformacím a napětí. Odolnost proti oxidaci dále podporují legující prvky jako titan, molybden a další korozivzdorné legury, které dále mění nejen chemické složení, ale i fyzikální vlastnosti.

Svařování těchto ocelí často probíhá po rozpouštěcím žíhání. Neobjevuje se zde výrazné křehnutí v TOO. Austenitické oceli mají po svařování náchylnost k mezikrystalové korozi v TOO a praskání svarových spojů během ochlazování vlivem smrštění materiálu.

Mezikrystalová koroze vzniká v místech, kde na rozmezí teplot dochází k vylučování karbidů chromu. Tomuto jevu lze zamezit použitím oceli s nižším obsahem uhlíku.

Praskání svarových spojů po chladnutí z vysokých teplot je způsobeno pevným upnutím nebo přivařením smršťujícího se dílu. Trhliny mohou být malých, okem neviditelných, rozměrů a mohou se projevit a šířit až při dalším využívání svařence. Vznik trhlin může nastat již během chladnutí nebo mohou mít mezidendritický průběh. K omezení praskání dochází tehdy, když nanášený kov bude obsahovat malé množství feritu.

[10, 12, 13]

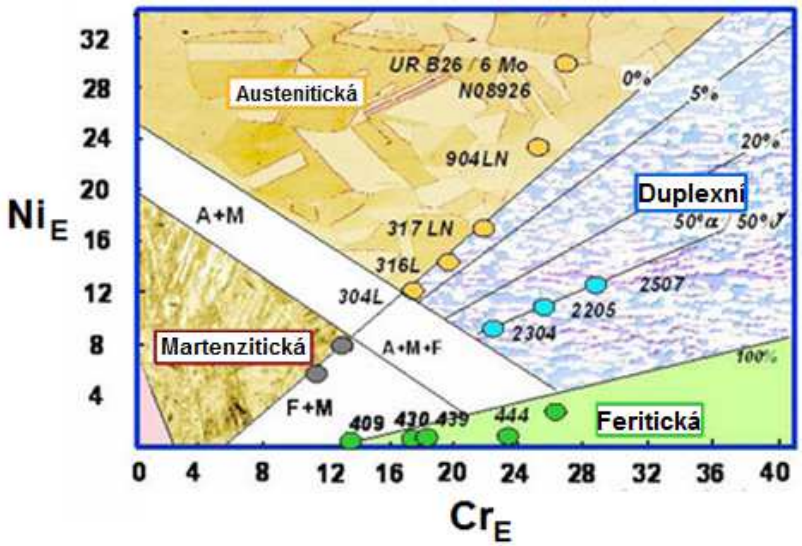
Vznik heterogenního svarového spojení

Přivařování sít z austenitické oceli na válec z běžné svařitelné oceli vzniká heterogenní spojení materiálů. Spojují se materiály s různým chemickým složením, strukturou a mechanickými vlastnostmi.

Při svařování korozivzdorné a nelegované nebo nízkolegované oceli je největší hrozbou svaru vznik trhlin. Na vznik těchto trhlin má vliv přídavný materiál, technologie svařování a velikost TOO ve svaru. Dalším faktorem vzniku trhlin je obsah vodíku ve svaru, který se vmísí během svařování. Velkou překážkou ve vytvoření vhodného svaru dvou odlišných materiálů je vznik intermetalických fází, většinou nevhodných vlastností (nízká tažnost, vysoká křehkost). Struktura svaru při spojení nelegované a vysokolegované je martenzitická.

Vhodnou strukturou, která je méně náchylná na vznik trhlin, je struktura austenitická s možností menšího obsahu feritu. Vliv různých legující prvků nejlépe zachycuje konstituční Schaefflerův diagram, který je na obrázku č.6. Chromový a niklový ekvivalent se počítá pomocí obsahů a výpočtů z jednotlivých legujících prvků:

- Niklovy ekvivalent: Ni_E = %Ni + 30 x %C + 0,5 x %Mn + 30 x %N
- Chromovy ekvivalent: Cr_E = %Cr + 1,4 x %Mo + 1,5 x %Si + 0,5 x %Nb + 2 x %Ti



Obrázek 6 - Schaefflerův diagram včetně vyznačených druhý korozivzdorných ocelí a modelem struktury materiálu

[12, 13]

3. Výroba a zpracování celulózy

Celulóza je polysacharid sestávající se z beta-glukózy. Je to hlavní stavební látka, která se podílí na stavbě sekundárních buněčných stěn rostlin. Je to na zemském povrchu nejrozšířenější biopolymer, neboli organická sloučenina s molekulovým řetězcem, ročně jí vzniká až $1{,}5\times10^9$ tun.

Termín celulóza se velmi často nesprávně používá pro označování papírenského polotovaru, jenž je směsí celulózy, hemicelulóz a zbytků ligninu – pro nějž papírenský průmysl používá termín "buničina".

Celulóza se získává chemickým způsobem z dřevěných vláken stromů (buničiny). Běžné dřevo obsahuje buničiny až 47 %. Technologie úpravy buničiny se dělí na dvě hlavní skupiny podle chemického složení rozpouštědel:

- Sulfitový způsob výroby
- Sulfátový způsob výrob

Dále je možné využívat recyklovanou celulózu pro další zpracování. Ze sběrového papíru jsou odstraněny tiskárenské barvy a další nečistoty, dále následuje rozvláknění vzniklé hmoty. U tohoto systému výroby nelze dosáhnout úplného vyčištění vláken od tiskárenských barev. Recyklovaná vlákna obsažená v celulóze již nemají tak vysokou pevnost, jako vlákna čerstvě vyrobená.

Celulóza se využívá při výrobě papíru, textilních materiálů, viskózového hedvábí a celofánu nebo k dalšímu chemickému zpracování.

3.1. Technologie výroby viskózového vlákna

Celulóza se dále zpracovává pro výrobu viskózového hedvábí, kde je jiné zastoupení chemikálií než u předchozích procesů.

Úprava celulózy pro výrobu viskózového hedvábí:

Jedná se o aplikaci zásaditých chemikálií – hydroxid sodný a další stopové prvky. Mícháním již hotové celulózy z předchozích procesů s hydroxidem sodným se vytváří "břečka". Tato bečka se dále podrobí depolymerizaci, což je štěpení dlouhých polymerních řetězců původní celulózy na řetězce kratší. Je to nejrozšířenější systém úpravy celulózy na alkalicelulózu. Řízené depolymerizace lze dosáhnout za určité teploty a tlaku, kterých je dosaženo v kontinuálním lisu. Při tomto procesu teplota ve stroji nepřekračuje 40°C.

Zastoupení jednotlivých chemikálií při procesu:

- **NaOH 17 hm%**
- **H_2O 78,5 hm%**
- **Celulóza 4,5 hm%**

Během depolymerizace dochází zároveň k odloučení louhu od alkalicelulózy. Alkaliceluóza dále chladne a zraje v komorách za určité teploty a vlhkosti. Po tomto zrání probíhá xantogenace, čímž vzniká xantogenát celulózy. Další filtrací a technickým zpracováním se postupně dojde k tkaní nebo spřádání vláken. Tato vlákna se nazývají filamentové příze (vlákna neomezené délky) a využití nacházejí nejčastěji jako výztuž pneumatik.

[14, 15]

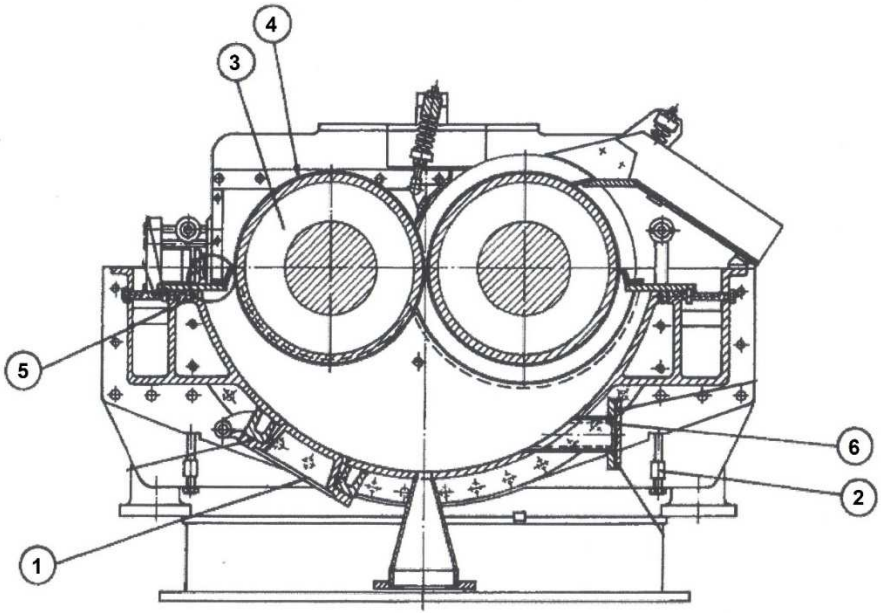
PRAKTICKÁ ČÁST

4. Popis lisovacího zařízení:

Lisovacím zařízením pro úpravu celulózy je kontinuální lis. Tento lis se skládá z dvou souběžných válců pokrytých korozivzdornými síty. Schématické vyobrazení je na obrázku č.7. Za pomoci tlaku se od hotové celulózy procházející mezi těmito válci oddělí zbytkové chemikálie. Na povrchu sít tak zůstane alkalicelulóza zbavená louhu, která se dopravníkem přesune k dalšímu zpracování.

Popis lisu:

- Typ: MPC-72
- Rok výroby: 1985
- Výrobce: Sunds Defibrator, Švédsko.



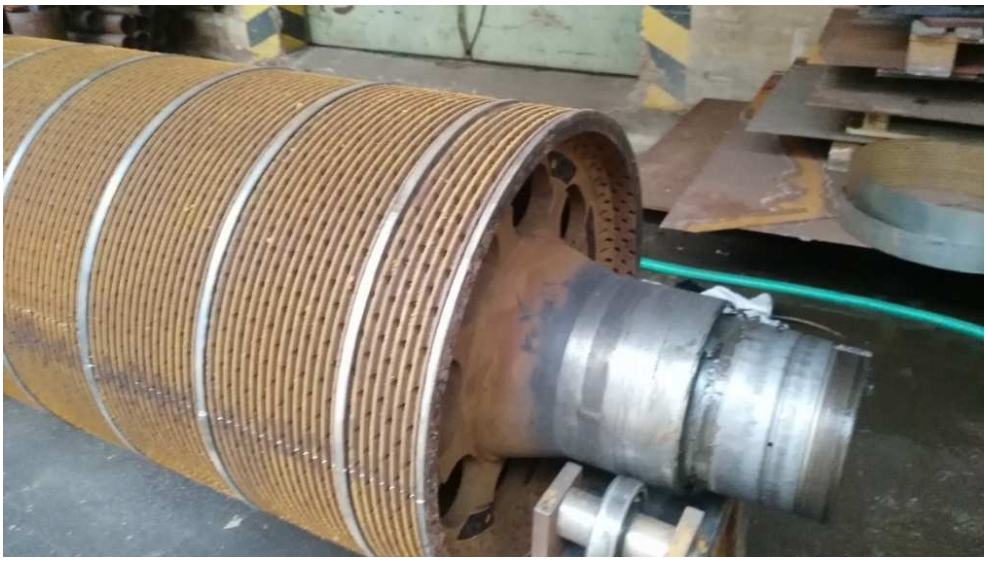
Obrázek 7 - Schématický nákres lisu. 1 - tělo lisu, 2 - uložení těla lisu, 3 - válce lisu, 4 - síta lisu, 5 - lišta na oddělení spodní části, 6 - přívod směsi buničiny a louhu

[16]

4.1.1. Válec lisu

Základní částí lisu jsou dva souběžné válce ve vodorovném uložení. Na povrchu jsou vytvořeny dva druhy drážek. Drážky pro opěr a drážky pro přivaření sít. Materiál válce není blíže přiřaditelný tabulkovým materiálům, dle svého chemického složení z dodané dokumentace se jedná o některou z běžných svařitelných ocelí, nejpodobnější je S235JR. Válec lisu během odstraňování sít je na obrázku č.8.

Obrázek 8 - Válec během odstraňování sít



Obrázek 9 – Odstrojený válce a rozložení opěrných drážek

Na obrázku č.9 je válec otočně uložený na manipulačním 2 ložiskovém podstavci, nacházející se mimo lis. Válec již je zbavený sít a je viditelné rozložení drážek.

Technické parametry válce:

- Délka: 1825 mm
- Průměr: 607 mm
- Nejméně přípustný průměr: 605,5 mm
- Hmotnost: 2,5 t
- Rozteč drážek: 12 mm
- Šířka drážek: 3 mm
- Materiál: ~AISI 1108

Během provozu v korozivním prostředí dochází k úbytku materiálu válce. Během oprav na válci se měří průměr tělesa. Nejmenší přípustný průměr je 605,5 mm, po dosažení tohoto rozměru je nutné navařením drážek a následným soustružením obnovit průměr na původních 607 mm.

4.1.2. Síta lisu

Vzhledem ke koroznímu prostředí hydroxidu sodného je materiál sít z austenitické korozivzdorné oceli. Z dodaných dokumentů se jedná o materiál EN 1.4436.

Síta jsou vyráběna ve třech rozměrech a přivařování na válce probíhá ve specifickém pořadí tak, aby se svary na obou válcích míjely. Otvory v sítech jsou vyrobeny vrtáním a mají bicylindrický nebo válcový tvar.

Technické parametry sít před rekonstrukcí:

- Síto 1: 2000 x 180,8 mm
- Síto 2: 2000 x 87,47 mm
- Síto 3: 2000 x 182,46 mm
- Materiál sít: EN 1.4436
- Průměr otvorů: 0,8 mm
- Tloušťka materiálu: 2,5 mm

[16]

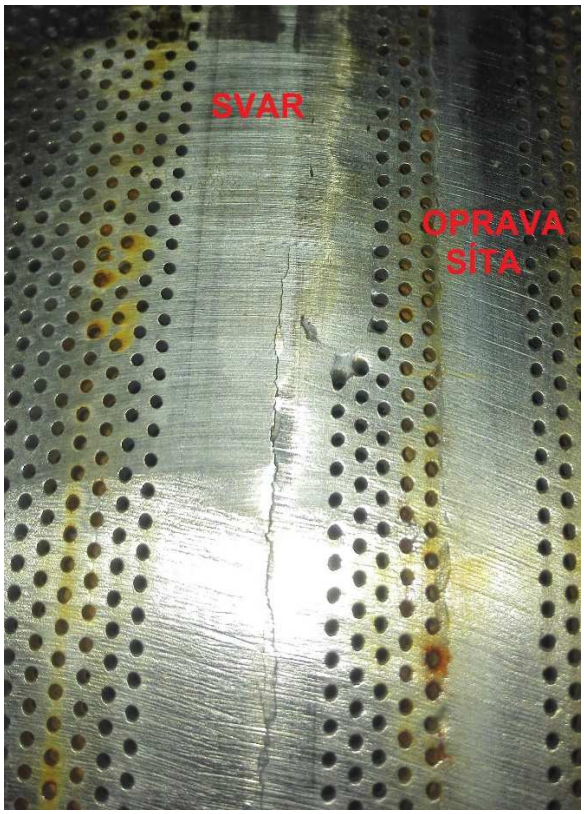
5. Současný stav a požadavky

Diplomová práce je vedena ve spolupráci s firmou Glanstoff – Bohemia s.r.o a je zaměřena na řešení problematiky praskání a vznikání trhlin v okolí svárů sít z korozivzdorné oceli, které se přivařují na lisovací válec pro výrobu alkalicelulózy. Lisovací válce jsou součástí kontinuálního lisu, který je vyobrazený na obrázku č.10. Lisovací soustava se skládá ze dvou otočných válců pokrytých vrtanými síty. Těmito válci otáčí mechanická převodovka, vše viditelné na obrázku č.11.

Obrázek 10 – Kontinuální lis MPC-72

Obrázek 11 - Převodovka a válce lisu

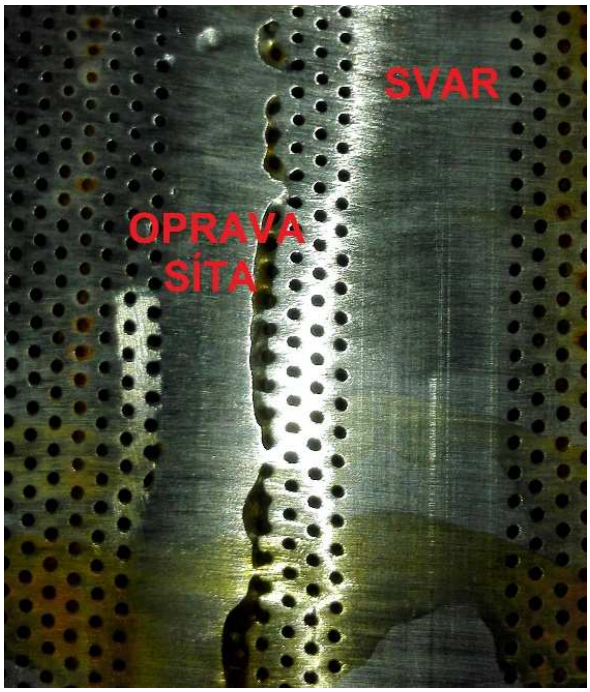
Na přivařených sítech, se během používání tvoří trhliny a porušení materiálu. Porušení vzniká v místech svarového kovu, základního materiálu i TOO, kde je síto svařené se základním materiálem válce. Takto porušený materiál vede k nedostatečnému zachycení působících sil při lisování, čímž nedochází k dostatečnému snížení hmotnostního podílu louhu v alkalicelulóze. Při vysokém obsahu louhu se polymerní řetězce štěpí neřízeně a má to dopad na kvalitu spřádání a tím i na konečný výrobek. Vzniklé trhliny jsou vyobrazeny na obrázku č.12 a č.13. Takto porušená síta je nutné často opravovat zavařením i v místech drenážních otvorů, viditelné na obrázku č.14, čímž síta ztrácejí svoji drenážní schopnost a opět nedochází k dostatečnému oddělení louhu od výsledné alkalicelulózy.



Obrázek 12 - Trhlina svaru 1

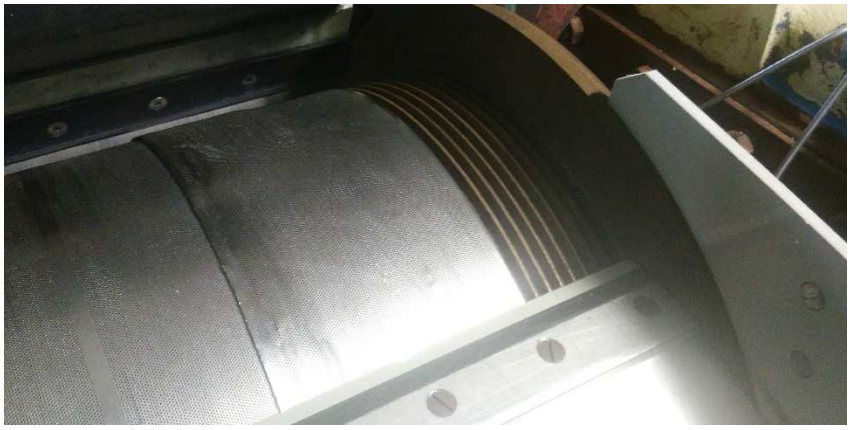
Obrázek 13 - Trhlina svaru 2

Na obrázku č.15 jsou vidět trhliny v místech spojení obou konců ohýbaného síta. Na obrázku č.16 lze vidět utržené síto, které se šířením trhlin oddělilo od válce. Toto oddělení síta zapříčinilo odstavení celého stroje, čímž vznikly větší škody na stroji a ohrožení kontinuálního provozu výroby.



Obrázek 14 - Zavaření drenážních otvorů

Obrázek 15 - Trhlina svaru konců síta



Obrázek 16 - Utržené síto na válci

Cílem je zjištění všech vstupních parametrů při výrobě, opravách a renovaci válců. Z těchto parametrů vyvodit důsledky vzniku trhlin a porušení a následně navrhnout změnu či úpravu těchto parametrů pro zamezení utváření dalších porušení materiálu.

Při spojení korozivního prostředí, tahového napětí (zapříčiněného například provozním zatížením nebo deformačním pnutí po svařování, případně kombinace obou) a použití austenitické oceli je největší pravděpodobností vzniku trhlin korozní praskání za napětí. Toto korozní praskání lze odstranit např. změnou základního materiálu, změnou tepelného

zpracování na odstranění pnutí nebo změnou dalších vstupních parametrů tohoto procesu. Mezi tyto změny patří následující:

- Volbu základního materiálu
- Volbu přídavného materiálu
- Technologii zpracování svaru
- Technologický postup svařování
- Parametry svařování
- Tepelné zpracování po svařování
- Změnu geometrie sít

Dále zvážit možnost zavedení pravidelných kontrol (VT, PT) a statistických analýz k protekci vzniku větších škod na stroji a zařízení.

6. Základní materiály

Z dodaných podkladů byly aktuálně zjištěné materiály sít a válce popsány v odstavcích níže. Pro upřesnění budou provedeny spektrální analýzy materiálu sít a korozních zplodin pro zjištění vlastních reakcí chemické lázně a svařovaných základních i přídavných materiálů.

Požadavky na základní materiál válce jsou následující:

- Svařitelnost
- Obrobitelnost
- Cena a dostupnost materiálu

Požadavky pro materiál sít jsou navýšené o:

- Korozivzdornost

6.1. Základní materiál válce

Na materiál válce nejsou kladeny takové požadavky, jako je materiál sít. Pro jeho funkčnost postačí běžná ocel bez korozivzdorných vlastností. V dodané technické dokumentaci je pouze chemické složení oceli, zjištěné materiálovou analýzou. Popis analýzy, datum uskutečnění nebo použité přístroje nejsou známy. Hodnoty jsou zapsány v tabulce č.3.

Tabulka 3 - Výsledek dřívější analýzy materiálu válce

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	0,16	0	-	-	1,1	0,4	0,04	-

Chemické složení z dodaných hodnot je nejblíže podobné materiálu dřívějším značením ČSN 11 110, jiným označením AISI 1108. Složení této oceli zobrazuje tabulka č.4.

Tabulka 4 - Chemické složení oceli AISI 1108

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	0,07-0,16	0	0	0	0,6-1,1	0,4	0,1	0,15-0,25

Vzhledem k situaci, kdy materiál není z korozivzdorné oceli dochází na materiálu válce k větším úbytkům materiálu. Aby se zamezilo porušení sít z vnitřní strany, kdy síta při lisování nejsou dostatečně podepřené celou plochou drážek, je nutné tento válec při vysokém pokrytí povrhu oxidační vrstvou třískově obrábět. Obrábění vyrovná hrubou strukturu drážek a dovolí tak sítům opěr po celé ploše těchto opěrných drážek. Při dosažení minimálního dovoleného průměru válce se na drážky nanáší nová přechodová vrstva materiálu a ta se znovu třískovým obráběním srovná na požadovaný průměr. Aktuálně používaný přídavný materiál je ocel 309L, která je vhodná i pro heterogenní spoje.

[17]

6.2. Základní materiál sít

Vzhledem k pracovnímu prostředí je aktuálním ve stroji použitým materiálem austenitická korozivzdorná ocel. Materiál sít není blíže specifikovaný v žádné dodané dokumentaci. Je znám pouze výsledek analýzy materiálu sít. Datum nebo použité přístroje nejsou v dokumentaci blíže specifikovány. Výsledek je zapsán v tabulce č.5.

Tabulka 5 - Výsledek analýzy materiálu sít

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	0,07	17-20,0	9-11,5	-	2,0	1,0	0,045	-

[17]

Zjištěné hodnoty jsou nejblíže materiálu dle normy ČSN 17 345 a 17 347 (oceli dříve vyráběné firmou Poldi, typy: AKV EXTRA a AKV EXTRA S), nový značením EN 1.4401 – X5CrNiMo17-12-2 a EN 1.4404 – X2CrNiMo17-12-2 nebo AISI 316 a 316L.

Pro bližší specifikaci použitého materiálu sít bude provedena nová spektrální analýza.

Spektrální analýza materiálu sít

Spektrální analýza slouží k efektivnímu zjištění složení analyzovaného materiálu (kovu, nástroje nebo horniny) pomocí spektrometru. Materiál sít byl podroben přesnému určení obsahu jednotlivých kovů touto nedestruktivní chemickou analýzou. Tato analýza nemá možnost zjištění obsahu uhlíku, tím jsou výsledné hodnoty zkreslené.

Měření bylo provedeno přístrojem BAS Delta na vyříznuté části již deformovaného síta na třech různých místech vzorku. BAS Delta je ruční analyzátor a spektrometr s napájením z vlastní baterie, během měření viditelný na obrázku č.17.

Obrázek 17 - Analýza sítového plechu spektrometrem BAS Delta

Naměřené hodnoty ukazuje tabulka č.6.

Tabulka 6 - Naměřené složení materiálu sít zjištěné spektrální analýzou (Obsah v %hm)

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
1. Měření	-	17,1	10,9	1,99	1,28	0,39	-	-
2. Měření	-	17,11	10,7	2,01	1,15	0,38	-	-
3. Měření	-	17,12	10,92	2,00	1,22	0,4	-	-
Průměr	**-**	**17,11**	**10,84**	**2,00**	**1,23**	**0,39**	**-**	**-**

Zjištěné hodnoty jsou nejblíže materiálu dle normy AISI 316 a 316L. Obsah Ti je 0 %.

Modifikace ocelí AISI 316Mo a 316Ti (EN 1.4436 – X3CrNiMo17-13-3 a EN 1.4571 – X6CrNiMoTi17-12-2) zřejmě nebyly použity vzhledem ke zjištěným koncentracím Mo a Ti.

Jedná se o ocel korozivzdornou, odolnou kyselině siřičité, octové, zředěné kyselině sírové, mravenčí aj. Svařitelnost zaručená. Vhodná pro zařízení pro chemický, farmaceutický, papírenský a textilní průmysl do teploty 400 °C.

Přesné složení z materiálových listů znázorňuje tabulka č.7.

Tabulka 7 - Chemické složení oceli EN 1.4401

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	<0,03	16,5-18	11-12	2,5-3	<2	<0,75	<0,04	<0,03

Mechanické vlastnosti jsou zapsány v tabulce č.8.

Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti oceli 1.4401

Typ	$R_{p0,2}$	$R_{p0,1}$	R_m	A	HB
Jednotky	MPa	MPa	MPa	%	-
Hodnota	300	325	630	70	217

Fyzikální vlastnosti jsou v tabulce č.9.

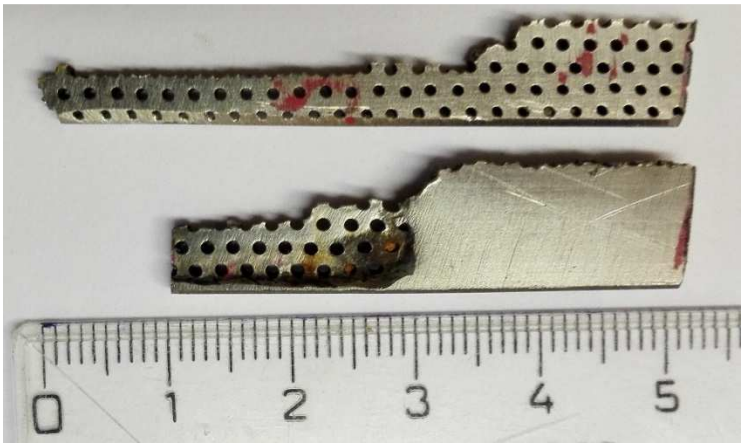
Tabulka 9 - Fyzikální vlastnosti oceli 1.4401

Typ	Hustota	Modul pružnosti	Tep. vodivost	Tepelná kapacita	Elektrický odpor	Magnetická
Jednotky	kg/m^3	GPa	W/m°C	J/kg°C	μΩm	-
Hodnota	8000	200	15	500	0,75	ne

[17, 18]

Spektrální analýza korozních zplodin

Pro upřesnění vzniku trhlin sít byla provedena materiálová analýza korozních zplodin uvnitř trhliny na lomové ploše a na vnitřní styčné části síta s válcem. Vzorky použité k této analýze jsou vyobrazené na obrázku č.18.



Obrázek 18 - Vzorky použité pro spektrální analýzu korozních zplodin

Pro mikrochemický rozbor byl použit elektronový mikroanalyzátor Camebax MICRO francouzské firmy CAMECA a energiově disperzním analyzátoru firmy KAVEX. Vše řízené mikropočítačem PDP 11/23 firmy DEC. Použité vlnové spektrometry nedokáží analyzovat vodík.

Pro výše zmíněná místa byla provedena kvantitativní analýza v 5 místech a výsledky zaokrouhleny na střední hodnotu včetně nejistot měření. Výsledky analýzy jsou v tabulce č.10.

Tabulka 10 - Mikrochemické složení korozních zplodin segmentu síta

Místo měření: Prvek:	Styčná plocha síta a válce [%]	Lomová plocha [%]
O	31,97 ± 1,60	42,65 ± 3,36
Al	1,71 ± 0,46	1,33 ± 0,17
Si	3,33 ± 0,70	3,25 ± 0,21
S	1,89 ± 0,42	3,31 ± 0,39
Cl	2,40 ± 0,44	3,04 ± 0,28
K	1,19 ± 0,27	1,74 ± 0,48
Ca	8,08 ± 0,70	14,43 ± 2,75
Ti	42,75 ± 2,99	25,69 ± 3,33
Fe	4,74 ± 0,31	3,93 ± 0,81

Z měření vyplývá, že v koncentraci jsou dominantními prvky Ti a O. Obsah Si a K je minimální. Vzhledem k nemožné indikaci vodíku lze předpokládat, že většina těchto prvků korozních zplodin je tvořena hydratovanými oxidy nebo hydroxidy zjištěných prvků. Během dalších analýz a měření nebyla zjištěná tak vysoká koncentrace Ti.

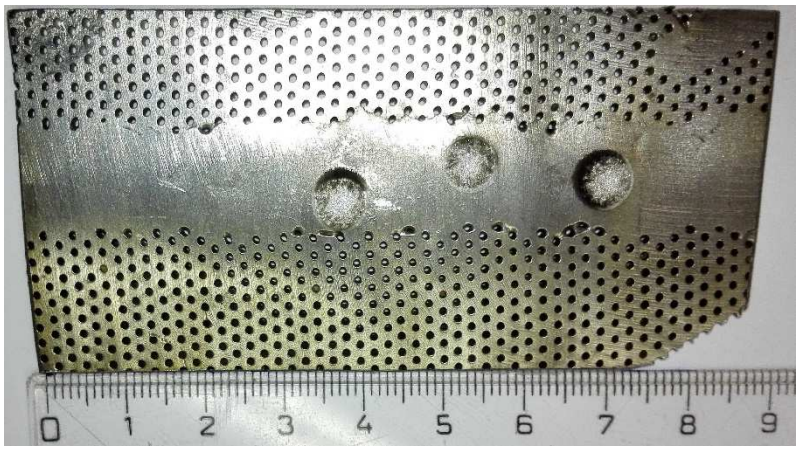
S a Cl jsou korozně vysoce aktivní látky, které i v malém množství ovlivňují životnost součástí a mechanismů. Za zvýšených teplot okolí tato korozní aktivita stoupá. Tyto prvky nejsou v chemickém procesu běžně zastoupeny, mohou se zde ale vyskytovat z předchozích procesů při zpracování celulózy.

Na základě provedených experimentů a jejich výsledků je viditelné, že při této koncentraci korozivních prvků je za daných fyzikálních podmínek odolnost sít překročena. K zabránění této situaci je vhodné zaměnit základní materiál sít, popřípadě i vhodně volit nový druh přídavného materiálu a materiálu pro navařování přechodových vrstev na válci.

[19]

Spektrální analýza svarového kovu

Pro zjištění používaného PM byla provedena spektrální analýza svarového kovu v místě příčného svaru obou konců jednoho síta. Tento svar pouze uzavírá plochu jednoho síta a není nijak přivařen k válci. Spojení síta s válcem je uskutečněno pouze pomocí obvodových svarů. Na obrázku č.19 je výřez vyřazeného a již znehodnoceného síta, který je tvořen svarem konců síta. Na tomto výřezu jsou viditelné 3 body, kde byla uskutečněna spektrální analýza.



Obrázek 19 - Příčný svar konců síta včetně viditelných bodů spektrální analýzy

Výsledky spektrální analýzy dominujících prvků jsou v tabulce č.11. Průměrné hodnoty obsahu ostatních prvků svarového kovu jsou v tabulce č.12.

Tabulka 11 - Výsledné složení svarového kovu spojení sít zjištěné spektrální analýzou (Obsah v %hm)

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
1. Měření	0,048	17,64	10,08	1,617	1,359	0,516	0,039	<0,150
2. Měření	0,046	17,80	9,963	1,397	1,349	0,494	0,043	<0,150
3. Měření	0,047	17,82	10,28	1,566	1,368	0,497	0,045	<0,150
Průměr	**0,047**	**17,75**	**10,11**	**1,527**	**1,359**	**0,502**	**0,042**	**<0,150**

Tabulka 12 - Obsah jednotlivých prvků ve svarovém kovu spojení konců síta

Prvek:	Obsah:	Prvek:	Obsah:
Cu	0,3340	Sb	0,0100
Al	0,0058	Ta	0,0090
As	0,0140	La	0,0082
B	0,0040	Ti	0,0091
Bi	0,0630	V	0,0790
Ce	0,0140	W	0,0590
Co	0,1340	Zn	0,0270
Mg	0,0250	Zr	0,0100
N	0,0740	Se	0,0350
Nb	0,1550	Fe	66,960
Pb	0,0260		

6.3. Nově použitý materiál sít

Firma Glanzstoff – Bohemia s.r.o již zakoupila u externí firmy nová síta. Z dodané dokumentace se jedná o korozivzdornou ocel EN 1.4436 (X3CrNiMo17-13-3), jiným značením AISI 316.

Ocel má nejčastější využití v průmyslu jako jsou součásti farmaceutických zařízení, příruby a ventily a pro části strojů na zpracování buničiny v papírenském průmyslu. Chemické složení oceli zobrazuje tabulka č.13.

Tabulka 13 – Chemické složení oceli 1.4436

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	<0,03	16,5-18	11-12	2,5-3	<2	<0,75	<0,04	<0,03

Mechanické vlastnosti jsou zapsány v tabulce č.14. Těchto mechanických vlastností lze dosáhnout po měkkém žíhání a chladnutí při pokojové teplotě. Žíhání probíhá při teplotách 550°C. Žíhání za vyšších teplot (až 850 °C) vede ke zvýšení tažnosti a snížení náchylnosti ke křehkému lomu. Fyzikální vlastnosti jsou v tabulce č.15.

Tabulka 14 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4436

Typ	$R_{p0,2}$	$R_{p0,1}$	R_m	A	HB
Jednotky	MPa	MPa	MPa	%	-
Hodnota	315	360	615	50	165

Tabulka 15 - Fyzikální vlastnosti oceli 1.4436

Typ	Hustota	Modul pružnosti	Tep. vodivost	Tepelná kapacita	Elektrický odpor	Magnetická
Jednotky	kg/m^3	GPa	W/m°C	J/kg°C	µΩm	-
Hodnota	8000	200	15	500	0,75	ne

Ostatní vlastnosti oceli 1.4436:

- Tváření za studena: Ocel je snadno tvářitelná za studena v různých operacích. Tyto operace tváření zvýší pevnost a tvrdost materiálu.
- Kalitelnost: Ocel není kalitelná.
- Tváření za tepla: Tváření za tepla se provádí za teplot 850-1150 °C. Pro zachování korozivzdornosti by výkovky po kování měly být žíhány při teplotě 1070 °C a následně rychle ochlazeny na vzduchu nebo ve vodě.

- Žíhání: Žíhání se provádí na vzduchu nebo do vody. Tato úprava je důležitá pro snížení zbytkových napětí a odlehčení pnutí. Ideální teploty pro žíhání jsou 1010-1110 °C, ale lze využít i nižších teplot.
- Obrobitelnost: Obrábí se hůře než běžná uhlíková ocel, ale lépe než ostatní korozivzdorné oceli. Vykazuje se nízkou lámavostí třísek a má tendenci k vytváření náběhové hrany.
- Svařitelnost: Má dobrou svařitelnost a je vhodná k využití běžných svařovacích metod, vyjma plamenného svařování (MMA, MIG, MAG, TIG, SAW, LBW, RSW). Nevýhodou je až o 50 % vyšší tepelnou roztažnost ve srovnání s běžnou uhlíkovou ocelí a nižší tepelnou vodivost, tím dochází k větším deformacím a smršťování. Pro zajištění správných vlastností svarového kovu (pevnost, korozivzdornost), je nutné zajistit stejnorodý přídavný materiál. Žíhání po svařování není nutností, ale ve speciálních případech je při namáhání možné riziko objevení koroze nebo trhlin. Pro úplné obnovení odolnosti svaru proti koroze je vhodné zahrnout do postupu úpravy moření a pasivaci.

[17, 18]

7. Alternativní materiály

Z dostupných materiálových listů a norem budou dále vybrány materiály s lepšími vlastnostmi a chemickým složením, které nahradí aktuálně využívané materiály pro určené využití.

7.1. Alternativní základní materiály sít

Prostředí s vysokým obsahem louhu a přítomností Cl a S je silně korozivzdorné. Pro tato prostředí je nutné používat austenitické nebo duplexní korozivzdorné oceli. Tyto oceli dále musejí být legovány Mo s obsahem 2-3 hm%. Mo zamezuje vzniku korozního praskání za napětí a bodové korozi.

Častějšímu poškození nebo porušení těchto ocelí nedochází v důsledku koroze, ale obvykle nedostatečnou kvalitou svarových spojů, především vznik mezikrystalové koroze v TOO. Proto je žádoucí použít tyto oceli s nízkým obsahem C (obvykle do 0,03 hm%) nebo oceli stabilizované Ti.

Chemické složení a mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů ve srovnání s materiálem aktuálním a nově pořízeným zobrazuje tabulka č.16 a tabulka č.17.

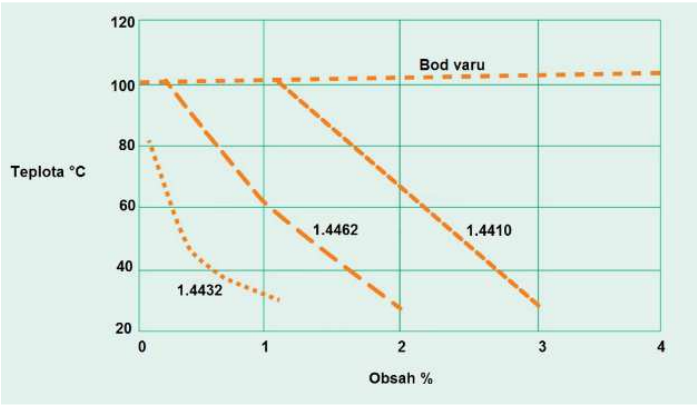
Tabulka 16 - Chemické vlastnosti alternativních materiálů, hodnoty jsou v %hm

Prvek Materiál	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Ti
1.4401	<0,03	16,5-18	11-12	2,5-3	<2	<0,75	<0,04	<0,03	0
1.4436	<0,03	16,5-18	11-12	2,5-3	<2	<0,75	<0,04	<0,03	0
1.4432	0,02	16-18	10-11	2-3	<2	<0,75	<0,04	<0,03	0
1.4571	0,08	16,5-18,5	10,5-13,5	2-2,5	<2	<1	<0,04	0,08	>5
1.4462	0,03	21-23	4,5-6,5	2,5-3,5	<2	<1	<0,03	<0,015	0
1.4410	0,02	25-26	6-7	4	<2	<1	<0,03	<0,02	0

Tabulka 17 - Mechanické vlastnosti alternativních materiálů

Typ Jednotky Materiál	$R_{p0,2}$ MPa	$R_{p0,1}$ MPa	R_m MPa	A %	HB --
1.4401	300	325	630	70	217
1.4436	315	360	615	50	165
1.4432	300	330	620	70	165
1.4571	285	310	615	70	170
1.4462	450	-	650-880	25	270
1.4410	530	-	730-930	25	290

Na obrázku č.20 je graficky znázorněna závislost vlivu teploty na hmotnostním procentu vodného roztoku kyseliny chlorovodíkové při stejnoměrném korozním napadení (100 µm / rok) různých materiálů.



Obrázek 20 - Graf porovnání křivek stejnoměrného korozního napadení různých materiálů v kyselině HCl

1.4432

Ocel je přímou alternativou k oceli EN 1.4436 (AISI 316). Ocel má lepší svařitelnost oproti původní verzi. Z tabulkových hodnot je patrné, že ocel má menší legování Cr, Ni a Mo, čímž nedosahuje tak vysoké korozivzdornosti.

Dále má nižší pevnost a vyšší tažnost, tím bude lépe tvářitelná. Nižším obsahem C je ocel snadněji třískově obrobitelná.

1.4571

Jiným označením ocel AISI 316Ti. Tato ocel je oproti předešlým ocelím stabilizovaná Ti. S přísadou Mo je odolnější vůči kyselinám oproti podobné Ti stabilizované oceli 1.4541. Ocel má nižší pevnost ve srovnání s ocelí 1.4432. Ocel má vyšší pevnost za zvýšených pracovních teplot.

Má časté využití v papírenském průmyslu. Díky přísadě Ti je ocel hůře třískově obrobitelná a leštitelná.

1.4462

Jiným označením AISI 317LN. Jedná se o ocel duplexní, kombinuje vlastnosti oceli austenitické a feritické.

Oproti aktuálnímu materiálu vykazuje vyšší korozivzdornost než ocel 1.4436 i v kyselém prostředí. Chloridy a chloridové ionty mohou narušit pasivační vrstvu a tím postupně šířit korozní napadení. Oproti austenitické oceli má lepší svařitelnost a nepodléhá koroznímu praskání za napětí a mezikrystalové korozi, nižší tvařitenost za studena a nízkou plastickou deformaci.

Může vykazovat požadavky na vyšší síly při tváření díky své vyšší pevnosti a nižší tažnosti.

1.4410

Jiným značením AISI F53. Jedná se o ocel super duplexní ocel, kombinuje vlastnosti oceli austenitické a feritické. Speciálně vyvinutá pro vysoce agresivní prostředí s obsahem Cl a S. Má vyšší obsah N a Mo, což této oceli propůjčuje vysokou odolnost proti bodové korozi. Díky většímu podílu feritické fáze je tato ocel odolná i proti koroznímu praskání za napětí, její složení tomuto jevu zamezuje i v prostředí s obsahem Cl a S za zvýšených teplot.

Ocel má řádově vyšší pevnost oproti oceli aktuálně použité, což může způsobovat vyšší potřebné síly k tváření za studena. Obrábění bude obecně náročnější než u běžné austenitické oceli.

Ocel je dobře svařitelná všemi běžnými metodami. Díky složení se v okolí svaru tvoří austenitická struktura, která dále brání šíření koroze. Svařování by mělo být prováděné bez přehřátí a je tak nutné dodržet maximální teplotu interpass 120-150 °C. Při svařování pouze z jedné strany a vystavení kořenu svaru koroznímu prostředí je důležité, aby kořen byl dostatečně široký. Vhodným PM ke svařování je 316LSi.

[18, 19, 20]

8. Volba přídavného materiálu

8.1. Přídavný materiál pro experimentální část

Z aktuální zprávy WPS, dodané firmou zpracovávající opravu, je přídavný materiál OK Tigrod 309L dodaný firmou ESAB. Složení a vlastnosti přídavného materiálu jsou v tabulce č.18 a tabulce č.19.

Tabulka 18 – Chemické složení PM – OK Tigrod 309L

Prvek	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S
Obsah v %hm	<0,015	24	13	0,1	1,7	0,4	<0,02	<0,02

Tabulka 19 – Mechanické vlastnosti PM – OK Tigrod 309L

Typ	$R_{p0,2}$	R_m	A
Jednotky	MPa	MPa	%
Hodnota	430	590	40

Z tabulek je patrné, že materiál má velmi nízký obsah uhlíku, je vhodný pro svařování ocelí podobného složení. Dále se využívá pro heterogenní spoje, např. korozivzdorné vysokolegované oceli a oceli nízkolegované nebo nelegované. Svým složením je drát nejpodobnější oceli EN 1.4332. Dodávaný je ve formě stříhaného drátu.

Doporučení výrobce přídavného materiálu: použití plynu I1 – Svařovací Argon, čistota 4.6 nebo 4.8.

[21, 22]

8.2. Alternativní přídavné materiály

Chemickým složením elektrody musí splňovat jistá kritéria, která jsou v souladu heterogenního spojení běžné konstrukční oceli a oceli austenitické. Tím je výběr doporučených elektrod, v případě TIG svařovacích drátů, zúžen na určitý typ materiálů. Jedná se o materiály s vysokým obsahem Cr a Ni. Srovná chemických složení zobrazuje tabulka č.20 a srovnání mechanických vlastností tabulka č.21.

Tabulka 20 - Chemické vlastnosti alternativních přídavných materiálů, hodnoty jsou v %hm

Prvek Materiál	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P
OK Tigrod 309L	<0,015	24	13	0,1	1,7	0,4	<0,02
OK Tigrod 309LSi	<0,02	23	13	0,1	1,8	0,8	<0,02
Böhler ER 309LSi	<0,03	24	13	0,2	2	0,9	<0,02
OK Tigrod 309MoL	<0,02	23	13	2,6	1,8	0,4	<0,02
OK Tigrod 316LSi	<0,03	19	12	2,8	1,8	0,8	<0,02
OK Tigrod 316MoL	<0,03	19	12	4	1,8	0,4	<0,02

Tabulka 21 - Mechanické vlastnosti alternativních přídavných materiálů

Typ Materiál	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	A %
OK Tigrod 309L	430	590	40
OK Tigrod 309LSi	475	635	32
Böhler ER 309LSi	400	550	30
OK Tigrod 309MoL	510	630	26
OK Tigrod 316LSi	500	630	33
OK Tigrod 316MoL	470	600	32

OK Tigrod 309LSi

Alternativním přídavným materiálem je OK Tigrod 309LSi. Materiál je svým složením podobný OK Tigrod 309L, ale s vyšším obsahem Si. Křemík při obsahu pod 0,5 % je dezoxidační prvek, který při svařování podporuje růst zrna, zmenšuje kritickou rychlost ochlazování a zabraňuje vzniku CO při tuhnutí a tím i tvorbě pórů. Dále křemík pomáhá zvýšit houževnatost svaru pomocí lepšího oddělení strusky od svarového kovu.

Böhler ER 309LSi

PM Böhler ER 309LSi má vyšší obsah C, Cr, Mn a Si oproti stejným materiálům jiných výrobců. Díky těmto změnám má i jiné mechanické vlastnosti.

OK Tigrod 309MoL

Materiál chemickým složením příbuzný předchozím materiálům s přídavkem Mo pro vyšší korozní odolnost. Vhodný k heterogenním spojením nelegované nebo nízkolegované oceli s vysokolegovanou ocelí.

OK Tigrod 316LSi

Materiál 316LSi s nízkým obsahem C, má velmi vysokou korozivní odolnost i v prostředích obsahujících Cl a S. Odolává MKK a má zvýšenou odolnost proti koroznímu praskání za napětí. Vhodný pro svařování duplexních i austenitických ocelí.

Tento materiál není přímo určený pro svařování heterogenních spojů běžné uhlíkové oceli a oceli vysokolegované nízkouhlíkové. Proto je účelné před užitím těchto PM použít pro přechodovou vrstvu nebo kořenový svar materiál vhodný pro heterogenní spoje, např.: Ok Tigrod 309LSi, 309MoL.

OK Tigrod 316MoL

Materiál s nízkým obsahem C, má vyšší korozivní odolnost oproti Tigrod 316LSi. Ostatní fyzikální vlastnosti jsou obdobné jako u předchozího materiálu. Vyšší obsah Mo zajišťuje svarovému kovu vyšší korozivzdorné vlastnosti.

[23, 24, 25]

9. Tepelné zpracování – žíhání

Žíhání ocelí je pomocná operace pro uvedení materiálu do stavu blízkému rovnováze. Stav blízký rovnováze vede ke snížení vnitřního pnutí a dosažení požadované mikrostruktury. Žíhání lze rozdělit na žíhání bez rekrystalizace a s rekrystalizací. Toto rozdělení je podle teploty ohřevu.

Vzhledem ke konstrukci lisovacího válce, kdy je na masivním válci přivařený tenký sítový plech, je vysokoteplotní žíhání nevhodné. Během vysokoteplotního žíhání by došlo k deformaci tenkostěnných sít – jev tenkostěnné nádoby na pevném rámu. Nejvhodnějším žíháním pro daný materiál je žíhání na odstranění pnutí nízkoteplotní.

Žíhání na snížení zbytkového pnutí

V materiálu po svařování vzniká vnitřní pnutí, které spolu s korozivním prostředím napomáhá šíření korozního praskání za napětí. Při teplotách žíhání od 420 do 620 °C se vnitřní

pnutí vyrovnají minimální lokální plastickou deformací. Pro zamezení šíření dalších pnutí je nutné na teplotě vydržet 4 až 10 hodin a následné pomalé dochlazování, při nedodržení těchto kroků by vzniklo nové vnitřní pnutí.

Ideálním postupem žíhání je ohřev 150-190 °C / hodinu na teplotu 500-550 °C, na této teplotě setrvat 5 až 7 hodin a po té chladit rychlostí 12-16 °C / hodinu. Při ohřevu na takovou teplotu je potřebné zvážit vhodnost této technologie pro daný stupeň korozního napadení povrchu válce.

[21, 22]

10. Navaření přechodových vrstev

Poškození povrchové vrstvy má za následek vyřazování strojních součástí v přibližně 80 % vyřazovaných součástí. Navařování je nejpoužívanější technologií renovace a tím zabránění ve vyřazení strojní součásti. Její efektivita závisí na cenách a dostupnosti nových součástí, rozsahu poškození, cenou PM a dalších faktorů.

Při vyšším opotřebení, změně geometrie a změně technických vlastností lisovacího válce je jeho renovace nejvýhodnější možnou variantou znovuobnovení této součásti. Renovací lisovacího válce lze obnovit součást z hlediska tvarového, funkčního, provozní schopnosti a bezpečnosti a za účelem zlepšení technických vlastností. Touto úpravou lze dosáhnout nových nebo i výrazně lepších vlastností povrchu. Hlavním činitelem k provedení renovace válce je průměr a stav povrchové vrstvy drážek.

Při vysokém opotřebení povrchu drážek nebo dosažení minimálního průměru válce je nutné přistoupit k renovaci. Minimální průměr válce je 605,5 mm. Vizuální kontrola nebo měření rozměru probíhá až po odstranění sítových plechů. Renovace se skládá z několika hlavních bodů:

a) Demontáž válců a jejich příprava na soustružení
b) Zarovnání drážek soustružením, kontrola průměru
c) Soustružení válců na průměr 590 mm
d) Navaření nové povrchové vrstvy na drážky
e) Soustružení a zarovnání na 607 mm

Pokud průměr válce po kroku b) přesahuje 605,5 mm a nepřevyšuje 607 mm, není třeba postupovat dále a lze přistoupit k navaření sít a kompletaci stroje.

Samotné navařování se provádí elektrickým obloukem, což je technologie vhodná k navařování rozměrných ploch s nepravidelným opotřebováním. Aplikací této technologie se dosahuje vyššího promísení ZM a návarového kovu než u jiných technologií. Navařování elektrickým obloukem pak může být prováděno dvěma základními způsoby – odtavující se elektrodou (nejčastěji MIG/MAG) nebo neodtavující se elektrodou s PM (TIG). Při použití technologie TIG dochází často k nežádoucímu většímu rozstřiku kovu. Na rozdílech těchto způsobů technologie dále závisí i volba a dostupnost určitého druhu přídavného materiálu.

Pro navařování lze použít několik rozdílných přídavných materiálů. Každý tento materiál se vyznačuje vlastním chemickým složením, mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Ve většině případů se jedná o materiály podobné přídavným materiálům z kapitoly 8.

10.1. Materiály přechodových vrstev

Aktuálně používaný materiál pro navařování a renovaci válce je OK Tigrod 309L – svařování technologií TIG. Tento materiál je totožný s aktuálně používaným materiálem pro heterogenní spoje válce a síta. Produktivnějším materiálem a technologií by byl materiál OK Autorod 309L – technologie MAG, totožné složení drátu.

Pro další použití a kombinaci s duplexní nebo super duplexní ocelí je nutné změnit přídavný materiál na 316L, 316MoL nebo 316LSi.

OK Autorod 309MoL

Materiál vhodný svým složení pro svarovou kombinaci austenitických ocelí a běžné nízkolegované oceli. Tento PM se nehodí pro svařování duplexních nebo super-duplexních ocelí.

Tento materiál neobsahuje žádný nebo téměř žádný molybden (záleží na výrobci). Vzhledem k výsledkům spektrální analýzy korozních zplodin v kapitole 6.3 a zjištěnému obsahu Cl a S je návarový materiál bez Mo nevhodnou variantou.

OK Autorod 316LSi

Materiál vzhledem ke korozní aktivitě pracovního prostředí vhodný s vyšším obsahem Mo. Využívá se i pro spojování duplexních a super duplexních ocelí. Odolává MKK korozi. Dodávaný ve formě navinutého drátu pro MIG/MAG svařování.

[24, 25]

11. Postup svařování

Renovace válců lisovacího zařízení kombinuje dvě technologie svařování. Pro navařování přechodových vrstev na válec a obnově opotřebených drážek na válci je účelná technologie MIG/MAG. Pro samotné přivařování sít z korozivzdorné oceli na válec je vhodné použití technologie TIG.

11.1. Technologie svařování

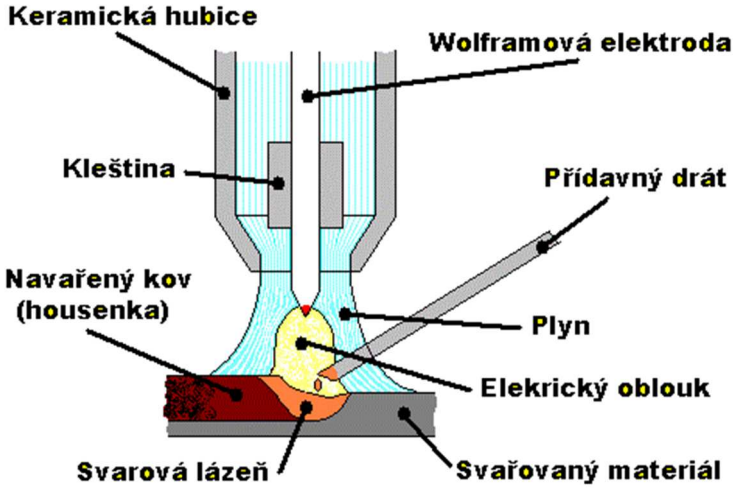
TIG

Technologie TIG přináší ve svařování ideální kontrolu nad svarovou lázní a umožňuje jistou preciznost spojení, což je v našem případě optimální. PM do svarové lázně si přidává svářeč sám dle potřeby a díky univerzálnosti této technologie je přídavných materiálu

k dispozici celá řada. Technologie umožňuje i využití automatizovaného podávání drátu, zobrazeného na obrázku č.21.

Obrázek 21 - TIG hořák s automatickým podavačem přídavného materiálu

Díky vysoké teplotě lze bez problémů svařovat i vysocelegované oceli. Pomocí úpravy tvaru špičky netavící se elektrody lze fokusovat elektrický oblouk do užšího místa a tím snížit tepelné ovlivnění, hloubku průvaru nebo například omezit tepelnou deformaci svařence.



Obrázek 22 - Schéma principu TIG svařování

Na obrázku č.22 je znázorněn princip technologie TIG svařování. Jako inertní plyn se nejčastěji využívá Argon v čistotě 4,6. Případně se používá směs Ar + He, kde helium má vyšší tepelnou vodivost a zároveň zvyšuje napětí na oblouku a tím i hloubku závaru. Díky této vyšší tepelné vodivosti lze svařovat rychleji, tím se do svaru vnese méně teplo a vzniknou menší deformace. Pro tuto aplikaci se používá kombinace Ar + 30 % He.

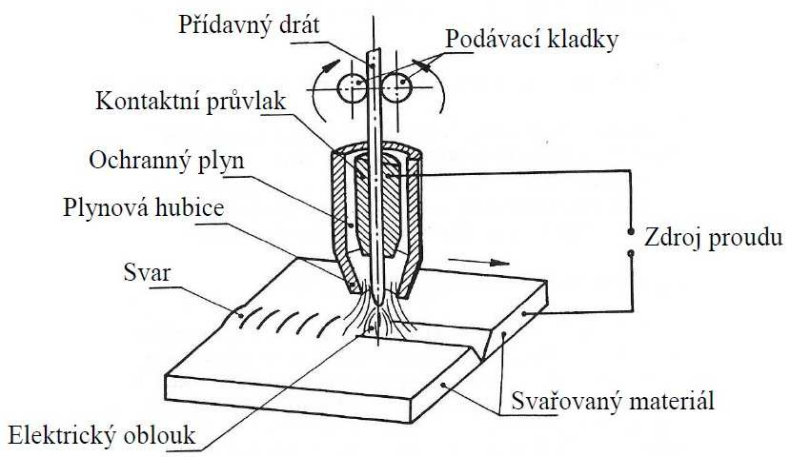
Pro speciální použití při svařování korozivzdorných austenitických ocelí se může použít Ar + H, kde tato kombinace má za následek vyšší vnesené teplo do svaru. Obsah vodíku se volí do 2 % pro ruční svařování a do 5 % pro svařování automatizované. Pro použití u jiných ocelí by vodík měl za následek vznik pórů nebo vodíkovou křehkost materiálu. Vzhledem k prostředí, ve kterém svařenec pracuje, je použití příměsi H v ochranné atmosféře nežádoucí.

MIG/MAG

Oproti technologii TIG se u této svařovací metody používá tavící se elektroda ve formě drátu. Drát se do svarové lázně dodává pomocí soustavy kladek automaticky v podavači. Typ přenosu kovu do svaru závisí na parametrech svařování a druhu ochranného plynu, rozlišují se tři základy principy:

- Zkratový přenos
- Kapkový přenos
- Sprchový přenos
- Pulzní přenos

Tato metoda má vyšší a jednodušší možnost automatizace, proto je vhodná k navařování a renovaci velkého množství drážek válce.



Obrázek 23 - Schéma svařování technologií MIG

Na obrázku č.23 je znázorněn princip svařování technologii MIG/MAG. Ochranné plyny využívané pro metodu MIG jsou stejné jako pro technologii TIG. Pro svařování korozivzdorných austenitických ocelí se mohou volit plyny s minimální složkou aktivních a reaktivních složek jako jsou O_2 a CO_2, vzhledem k obsahu reaktivních složek se již jedná o metodu MAG. Obvyklé zastoupení těchto složek je do 3 % a volí se podle chemického složení základního a přídavného materiálu.

[22, 23, 24]

11.2. Technické plyny

Hlavní výhodou technických plynů oproti jiné ochraně svarové lázně je, že při jejich používání nevzniká žádný neekologický odpad. Plyn se po svařování rozptýlí v atmosféře, odkud byl z velké části odloučen a vyroben. Svařováním s pomocí inertních plynů dokonce nevzniká žádná rafinace a žádné chemické ovlivnění samotného svaru a svařovaných materiálů.

Rozdělení veškerých technických plynů pro svařování určuje norma EN 439 (ČSN EN 439). Volba plynu probíhá podle následujících kritérií:

- Technologie svařování
- Chemické složení základního a přídavného materiálu
- Požadavků na chování svarové lázně
- Hloubku a tvar závaru
- Tepelné ovlivnění

Pro svařování korozivzdorných materiálů se používají technické plyny skupiny M1. Tyto plyny obsahují minimální obsah reaktivních plynů. Tabulka č.22 zobrazuje různé kombinace plynů vhodných k svařování korozivzdorných materiálů.

[26, 27, 28]

Tabulka 22 - Technické plyny doporučené pro svařování korozivzdorných ocelí

Označ.STN EN 439	Obsah složky (%)						Pro materiály
	Ar	CO_2	O_2	He	H_2	N_2	
I 1	100						Pro všechny skupiny vysokolegovaných ocelí a slitin
M 11	98	2					Žáruvzdorné austenitické CrNi-oceli, speciálně ušlechtilé Duplex, feritické Cr-oceli, oceli odolné proti kyselinám, korozivzorné austenitické CrNi-oceli
M 12	97,5	2,5					
M 13	99		1				
M 13	98		2				
M 13	97		3				
I 3	70			30			CrNi-oceli a Ni slitiny větší tloušťky
I 3	50			50			
I 3	30			70			
M 11 (1)	83	2		15			Korozivzdorné oceli odolné proti kyselinám
M 13 (1)	69		1	30			
M 12 (1)	78	2		20			Speciální ušlechtilé Duplex, Superduplex, korozivzdorné a žáruvzdorné CrNi-oceli, Ni-materiály s malými nároky na korozní namáhání
M 12 (2)	48	2		50			
M 11 (1)	77,95	0,05		20	2		Korozivzdorné materiály na bázi Ni
M 12 (2)	49,95	0,05		50			
S R1+2N	93				1	2	Austenitické materiály, Duplex a Superduplex oceli
S I3+2N	78			20		2	
S I1+N	99 1/3					2/3	

S přihlédnutím ke kombinaci svařovaných materiálů je pro technologii MIG/MAG použitelný plyn skupiny I1 a I3. Pro technologii TIG jsou to plyny obdobné.

[28, 29]

12. Návrh změn procesů

Změnou dosavadních vstupních parametrů eliminovat další příležitosti vzniku nebo šíření trhlin a porušení materiálu.

12.1. Záměna výroby sít

Síta jsou vyráběny ze svitků plechu a otvory jsou do plechu vrtané. Vrtání je druh třískového obrábění. Aby byl výsledek práce přesný a kvalitní, je potřeba:

- Volit správný nástroj
- Správně naostřený nástroj
- Dobré upnutí obrobku i nástroje
- Kontrola vrtaných děr

Obrábění korozivzdorných ocelí je náročná operace z důvodu chemického složení a pevnosti ocelí. Austenitické oceli jsou z korozivzdorných ocelí nejhůře obrobitelné a během obrábění dochází brzy k opotřebení nástroje, tím změně geometrie nástroje i obráběné součásti. Během vrtání mohou tak v materiálu vznikat menší porušení, vrypy nebo trhliny, okem neviditelné, které dále během provozu mohou vést k šíření koroze nebo únavových trhlin. Těmto jevům je možné zamezit změnou výroby sít.

Jako náležitou alternativou se zde nabízí laserové obrábění – vrtání. Toto obrábění nachází stále více uplatnění, díky možnosti vrtat téměř do všech druhů materiálu. Vrtání laserem v dnešní době nabízí přesnost vrtání až na 1 µm a to i s možností pod úhlem.

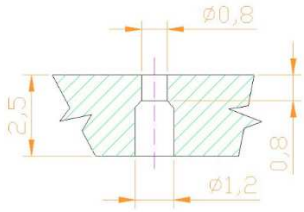
Při používání laseru vznikne na hraně materiálu tenká TOO. Vliv této oblasti záleží na použití aktivního plynu při řezání (vrtání) laserem. Při použití O_2 lze očekávat nárůst oxidických vrstev a tím možnému šíření koroze. Použití N_2 vede k hladkému a čistému povrchu, který není nikterak zbaven svých korozivzdorných vlastností. Vzhledem k nižší reaktivitě dusíku se však používá nižší řezná rychlost a vyšší tlak plynu.

Zvážit možnost výroby sít laserovým vrtáním děr. Zlepšením povrchu vrtaných otvorů se zamezí vzniku trhlin mechanického původu.

[30]

12.2. Změna geometrie sít

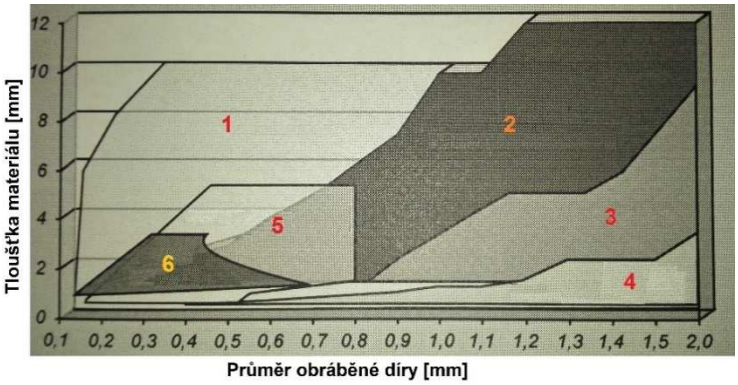
Momentálně používaná síta, která jsou osazena na válci jsou třískově obráběná. Geometrie děr má dva průměry a tloušťka obráběného plechu je 2,5 mm. Geometrie děr je znázorněná na obrázku č.24.



Obrázek 24 - Geometrie děr momentálně používaného síta

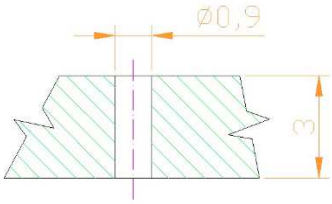
Během svařování dochází k částečným deformacím sítového plechu. Tyto deformace se při dalším pracovním postupu zabrušují tak, aby vznikl hladký povrch celého válcového svařence bez zvlnění a nerovností. Během tohoto zabroušení se odebere na některých místech až 0,6 mm z celkové síly materiálu, tím dojde k vysokému zeslabení tloušťky a narušení pevnosti materiálu. Toto narušení pevnosti může být v kombinaci s tepelným ovlivněním a chemickým složením břečky příčinou dalšímu vzniku nebo šíření trhlin. Zesílením tloušťky materiálu je do procesu vložen další aspekt, který zabrání šíření trhlin.

Síta jsou dodávána zahraniční firmou Andritz. Firma se zabývá zpracováním pásů válcovaných za studena z korozivzdorných a uhlíkových ocelí, hliníku a neželezných kovů. Jejich technologie na perforaci děr v pásech se liší v závislosti tloušťky materiálu na průměru obráběných otvorů. V diagramu na obrázku č.25 lze vidět, že pro průměr díry 0,8 mm při tloušťce materiálu 2,5 mm odpovídá výroba díry bicylindrickému vrtání. Při změně průměru díry na 0,9 mm a tloušťce materiálu na 3 mm lze již síta vyrábět s dírou válcovou.



Obrázek 25 – Graf závislosti tloušťky materiálu na průměru díry a vhodnost technologie obrábění děr plechů z korozivzdorné oceli; 1 - frézování, 2 - bicylindrické vrtání, 3 - válcové vrtání, 4 - děrování a perforace, 5 - perforace elektronovým paprskem, 6 - laserové vrtání

Nově pořízená síta z materiálu EN 1.4436 mají tloušťku 3 mm a průměr děr 0,9 mm. Rozměr a tvar děr je viditelný na obrázku č.26. Během provozu nových sít bude potřebné mapovat problematiku spojenou se změnou geometrie, jako jsou například zanášení otvorů nebo dostatečné oddělení louhu od výsledného produktu.



Obrázek 26 - Geometrie děr nově pořízeného síta

[31]

12.3. Ochrana průvaru kořene

Velká část pozornosti je věnována ochranné atmosféře a volbě správného plynu. Problémem pak bývá dopravení ochranného plynu i ke kořeni svaru, kam se často nedostane. V případě kontaktu svarového kovu s okolní atmosférou může často docházet k vadám, například oxidaci, pórům a dalším. Mezi materiály k těmto jevům náchylným patří i korozivzdorné oceli. K ochraně a formování kořene a protekci vlivu těchto nežádoucích elementů se nabízí několik řešení:

- Proplach okolí kořene svaru správným plynem
- Použití ochranné pasty
- Použití ochranné pásky

Po svařování se často ke kořeni svaru již nedá dostat a nelze jej očistit nebo kontrolovat, případně dokonce opravit. Špatně zpracovaný kořen svaru tak může obsahovat vady, které se mohou dále šířit, snižovat pevnost nebo korozivzdornost místního materiálu.

Proplach okolí kořene svaru ochranným plynem

Tuto aplikaci je možné využít pouze tehdy, když konstrukce svařence dovoluje použití přípravků, kterými plyn proudí ke kořeni svaru a lokálně ji tak chrání. V případě absence možnosti použití přípravku lze vyplnit ochrannou atmosférou celou vnitřní část svařence.

Použití ochranné pasty

Pokud konstrukční možnosti neumožní použití ochrany kořene plynem, je možné použít speciální pasty. Tato formovací pasta se nanáší na nedostupná místa v okolí kořene svaru a chrání tak materiál před stykem s okolní atmosférou.

Použití ochranné pásky

Podobným principem pracuje s ochranou kořene svaru i páska. Páska se nalepí na svařované materiály v místě svaru (tak aby nebránila správnému promísení materiálů). Po nalepení páska nepropustí okolní atmosféru ke kořeni svaru.

Během regenerace válce ověřit možnost použití jedné z výše uvedených variant a v případě způsobilosti tento postup použít.

[32]

12.4. Doporučený postup svařování

Z dodaných dokumentů a zpráv firmy Glanzstoff – Bohemia s.r.o je patrné, že během přivařování korozivzdorných sít na válec z běžné konstrukční oceli vzniká vysoká nerovnoměrná deformace materiálu sít. Tato deformace během svařování dále iniciuje deformační pnutí. Postupem svařování lze těmto deformacím částečně zabránit. Přivařování sít se provádí metodou TIG. Svařováním shora dolů po nakloněné rovině lze zajistit, že do svaru nebude vneseno tolik tepla, čímž se sníží tepelné ovlivnění a deformace.

Před použitím jedné z uvedených duplexních ocelí je před samotným přivařováním náležité navaření přechodových vrstev na válec přídavným materiálem 309L, případně modifikací 309MoL nebo 309LSi.

Svarové plochy je optimální připravit a očistit, dále obrousit v šířce min. 10 mm na obě strany od svaru. Kontrolu přípravy svarových ploch vizuálně po celém obvodu. Před svařováním upravit tvar a rozměr síta na válec a vše dostatečně upevnit stahovací obručí. Po upevnění určitého síta svařit konce síta dohromady, jako PM použít 316L. V případě použití jedné z duplexních ocelí jako základního materiálu sít použít modifikaci 316MoL.

Poté síta nastehovat bez přídavného materiálu, v případě potřeby použít materiál 309L, nebo modifikaci 309LSi (při použití síta z duplexní oceli použít PM 316MoL). Stehovat pouze bodově na každých 50-60 mm po celém obvodu.

Kořenovou vrstvu svaru provádět přídavným materiálem 309LSi, případně modifikací 309MoL (při užití duplexních ocelí používat PM 316MoL). Válec pomyslně rozdělit na kvadranty. První housenku o délce 50-100 mm položit v prvním kvadrantu, pokračovat kvadrantem třetím, druhým a následně čtvrtým. V tomto sledu kvadrantů postupovat po housenkách až do přivaření celého obvodu.

Svařováním krycí vrstvy postupovat stejným způsobem po kvadrantech jako u kořenové vrstvy. Jako PM použít 316L, případně modifikaci 316MoL (v případě duplexních ocelí používat PM 316MoL)

Dokončovací operací je začištění svaru, případně zabroušení do požadovaného tvaru svařence tak, aby splňoval geometrické požadavky a funkčnost.

13. Doporučení zavedení pravidelných kontrol

K dosažení plnohodnotných změn a doporučení bylo potřeba získat více údajů o vzniklých trhlinách a poruchách stroje. Tyto údaje nyní nejsou nikde vedené nebo specifikované. Pro zlepšení výsledků dalších prací bude doporučeno veškeré vzniklé trhliny a chyby zaznamenávat, a to včetně oprav a použitých materiálů nebo technologií svařování. Poruchová místa stroje jsou nejčastěji jednoduše odhalitelná, když na výstupu zpracovaného rouna ze stroje je vidět velká vlhkost a nedostatečné vylisování.

Tímto lze zmapovat šíření trhlin, vznik koroze nebo vliv vstupních parametrů svařování. Tento statistický záznam by měl mít každý stroj a do záznamů je důležité zapsat vše potřebné k možnému ověření vhodnosti používaných technologií. Podle záznamu lze při další regeneraci a renovaci lisovacích válců přihlédnout k žádoucím postupům, které povedou k lepším výsledkům opravných prací.

Tento záznamový arch by měl obsahovat následující informace:

- Označení a typ stroje
- Datum spuštění stroje a výroby
- Datum zjištění závady
- Popis závady
- Umístění na stroji (válec, pozice, síto)
- Rozměr a směr vady (radiální, axiální)
- Druh opravy
- Přídavný materiál
- Použitá technologie
- Použité nástroje

Návrh vzhledu a rozmístění tabulky je zobrazen v tabulce č.23.

Dále k záznamu připojit 3 fotografie s měřítkem. Fotografie pořizovat z jednotné vzdálenosti, aby se zamezilo zkreslení.

Označení stroje:	
Datum spuštění:	

Datum zjištění závady:	Popis závady:	Umístění na stroji:	Rozměr a směr vady:	Druh opravy:	Přídavný materiál:	Použitá technologie:	Použité nástroje:	Podpis technika:

Tabulka 23 - Návrh rozvržení tabulky pro záznam poruch a oprav

Diskuse výsledků a doporučení

Z výsledků analýz bylo zjištěno, že během chemických procesů zpracování celulózy se v “břečce“ objevuje malá, ale znatelná koncentrace vysoce korozně aktivních prvků S a Cl. Tyto prvky do procesu může s sebou přinést samotná celulóza z předchozích procesů. Díky těmto prvkům je korozní odolnost aktuálně používaný sít překročena. Na základě těchto hodnot bylo doporučeno změnit základní materiál sít. S tím je spojena i změna přídavných materiálů nebo materiálů navařovaných na přechodové vrstvy. Přechodová vrstva je použita na válec vyrobený z běžné oceli, aby se zlepšila svařitelnost a mísitelnost s korozivzdorným materiálem sít.

Základní materiál sít

Pro materiál sít je vhodné volit materiál s vysokou korozní odolností. Z provedených analýz je patrné, že při zpracování celulózy se v lisovacím zařízení objevují i vysoce reaktivní chemické prvky a sloučeniny, které snižují životnost aktuálně používaného materiálu. Z navržených materiálů má nejvyšší odolnost vůči Cl a S a jejich sloučeninám ocel 1.4410.

Austeniticko-feritická super duplexní ocel s vysokým obsahem Mo, která svou korozivzdorností předčí i oceli duplexní. Odolná vůči mezikrystalové korozi a koroznímu praskání za napětí. Dobře svařitelná s dodržením maximální teploty interpass 120-150 °C. Ocel má oproti stávající nižší tažnost a vyšší pevnost.

Přídavný materiál

Přídavný materiál je důležité volit podle aktuálního chemického složení základního materiálu sít. Materiál musí zaručit dobré spojení základního materiálu válce a materiálu sít i za předpokladu, že dosud neproběhne nové navaření přechodové vrstvy na válec, které se provádí při jeho renovaci.

V případě aktuálně použitého materiálu 1.4436 se jeví PM Ok Tigrod 309MoL jako optimální řešení pro kořenovou vrstvu svaru. Materiál je vhodný i k heterogennímu spojení dvou rozdílných ocelí. S přihlédnutím ke korozní aktivitě prostředí volit jako krycí vrstvu svaru materiál 316L, případně modifikaci 316LSi.

V situaci použití sít z doporučeného super duplexního materiálu 1.4410 je žádoucí před přivařováním sít provést navaření přechodové vrstvy a následně použít jako přídavný materiál 316MoL.

Přechodové materiály

Pro renovaci lisovacího válce při nadměrném porušení povrchu drážek je optimálním řešením navaření nového materiálu. V tomto případě volit jako přídavný materiál 309MoL.

V případě přivařování nyní pořízených sít je patřičné použití materiálu 309L, případně modifikaci 309LSi nebo 309MoL.

Závěr

Diplomová práce zkoumá problematiku vzniku a šíření trhlin korozivzdorných sít lisovacího zařízení pro výrobu a zpracování viskózového hedvábí. Toto zařízení pracuje v prostředí hydroxidu sodného a dalších korozně aktivních prvků. Díky tomuto prostředí je materiál ohrožen mezikrystalovou korozí a korozním praskáním za napětí.

V teoretické části jsou popsány základní principy svařování, informace a rozdělení korozivzdorných ocelí a popis výroby a zpracování celulózy. V praktické části je popsáno lisovací zařízení včetně základních součástí. Dále bylo provedeno několik analýz stávajících materiálů a na základě výsledků těchto analýz bylo doporučeno změnit dosavadní základní a přídavné materiály a technologie výroby nebo svařování některých dílů tak, aby vyhovovaly pracovnímu prostředí.

Vzhledem k chybějícím údajům potřebným pro ideální stanovení vstupních parametrů svařovacích a renovačních technologií, bylo dále doporučeno, zapisovat a mapovat vznik a šíření dalších trhlin do tabulky. Následně pomocí statistických postupů zjistit příčiny vzniku trhlin a porušení a eliminovat je, eventuálně při objevení výhodnější technologie nebo přídavného materiálu, tento použít k dalším opravám.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Svarový spoj: 1 – kořenová vrstva, 2- výplňová vrstva, 3 – krycí vrstva, 4 – tepelně ovlivněná oblast, 5 – základní materiál 12
Obrázek 2 - Dělení koroze podle druhu napadení materiálu 14
Obrázek 3 - Mezikrystalová koroze 14
Obrázek 4 - Korozní praskání mezirkystalové 15
Obrázek 5 - Korozní praskání transkrystalové 15
Obrázek 6 - Schaefflerův diagram včetně vyznačených druhý korozivzdorných ocelí a modelem struktury materiálu 19
Obrázek 7 - Schématický nákres lisu. 1 - tělo lisu, 2 - uložení těla lisu, 3 - válce lisu, 4 - síta lisu, 5 - lišta na oddělení spodní části, 6 - přívod směsi buničiny a louhu 21
Obrázek 8 - Válec během odstraňování sít 22
Obrázek 9 – Odstrojený válce a rozložení opěrných drážek 22
Obrázek 10 – Kontinuální lis MPC-72 24
Obrázek 11 - Převodovka a válce lisu 24
Obrázek 12 - Trhlina svaru 1 25
Obrázek 13 - Trhlina svaru 2 25
Obrázek 14 - Zavaření drenážních otvorů 26
Obrázek 15 - Trhlina svaru konců síta 26
Obrázek 16 - Utržené síto na válci 26
Obrázek 17 - Analýza sítového plechu spektrometrem BAS Delta 29
Obrázek 18 - Vzorky použité pro spektrální analýzu korozních zplodin 30
Obrázek 19 - Příčný svar konců síta včetně viditelných bodů spektrální analýzy 32
Obrázek 20 - Graf porovnání křivek stejnoměrného korozního napadení různých materiálů v kyselině HCl 35
Obrázek 21 - TIG hořák s automatickým podavačem přídavného materiálu 42
Obrázek 22 - Schéma principu TIG svařování 42
Obrázek 23 - Schéma svařování technologií MIG 43
Obrázek 24 - Geometrie děr momentálně používaného síta 46
Obrázek 25 – Graf závislosti tloušťky materiálu na průměru díry a vhodnost technologie obrábění děr plechů z korozivzdorné oceli; 1 - frézování, 2 - bicylindrické vrtání, 3 - válcové vrtání, 4 - děrování a perforace, 5 - perforace elektronovým paprskem, 6 - laserové vrtání . 46
Obrázek 26 - Geometrie děr nově pořízeného síta 47

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení svařovacích postupů 11
Tabulka 2 – Rozdělení korozivzdorných ocelí 16
Tabulka 3 - Výsledek dřívější analýzy materiálu válce 27
Tabulka 4 - Chemické složení oceli AISI 1108 28
Tabulka 5 - Výsledek analýzy materiálu sít 28

Tabulka 6 - Naměřené složení materiálu sít zjištěné spektrální analýzou (Obsah v %hm)..... 29
Tabulka 7 - Chemické složení oceli EN 1.4401 29
Tabulka 8 - Mechanické vlastnosti oceli 1.4401..... 30
Tabulka 9 - Fyzikální vlastnosti oceli 1.4401 30
Tabulka 10 - Mikrochemické složení korozních zplodin segmentu síta..... 31
Tabulka 11 - Výsledné složení svarového kovu spojení sít zjištěné spektrální analýzou (Obsah v %hm)..... 32
Tabulka 12 - Obsah jednotlivých prvků ve svarovém kovu spojení konců síta..... 32
Tabulka 13 – Chemické složení oceli 1.4436..... 33
Tabulka 14 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4436..... 33
Tabulka 15 - Fyzikální vlastnosti oceli 1.4436 33
Tabulka 16 - Chemické vlastnosti alternativních materiálů, hodnoty jsou v %hm..... 35
Tabulka 17 - Mechanické vlastnosti alternativních materiálů 35
Tabulka 18 – Chemické složení PM – OK Tigrod 309L..... 37
Tabulka 19 – Mechanické vlastnosti PM – OK Tigrod 309L 37
Tabulka 20 - Chemické vlastnosti alternativních přídavných materiálů, hodnoty jsou v %hm38
Tabulka 21 - Mechanické vlastnosti alternativních přídavných materiálů 38
Tabulka 22 - Technické plyny doporučené pro svařování korozivzdorných ocelí..... 44
Tabulka 23 - Návrh rozvržení tabulky pro záznam poruch a oprav..... 50

Seznam použité literatury

[1] DILLINGER, J. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. [cit. 2017-10-28]. ISBN 978-80-86706-19-1.

[2] HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování (The Theory and Technology of Welding)* - první multimediální publikace o svařování. [online]. [cit. 2017-10-29]. VŠB – TU Ostrava, 2009, Dostupné z: < http://fs1.vsb.cz/~hla80 >. ISBN 978-80-248-2414-7

[3] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: ZEROSS, 8/2001. 395s. [cit. 2017-10-30]. ISBN 80-85771-81-0.

[4] BARTÁK, J. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. 417s. [cit. 2017-30-10]. ISBN 80-85771-97-7.

[5] ČIHAL, V. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 3. přepracovane vyd. Praha: Nakladatelstvi technicke literatury. 1984. 407s. [cit. 2017-11-8]

[6] FS ČVUT.CZ Ústav procesní a zprac. techniky. *Koroze* [online][cit.2017-11-12]. Dostupné z http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_predn13-Ko.pdf

[7] ČÍHAL, V. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1 vydání, Praha: Academia AV. 1999. [cit. 2017-11-5]. ISBN 80-200-0671-0

[8] *Korozivzdorné oceli – vlastnosti*. StainlessSteelProperties_CZ.pdf. EURO INOX.

2002. [online]. [cit. 2017-11-7]. Dostupne z: http://www.euroinox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf ISBN 2-87997-082-2

[9] BRENNER, O. ing. CSc. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály*. MM Průmyslove Spektrum. 2003 [online]. [cit. 2017-11-7]. Dostupne z: http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy.html

[10] ZCU.CZ Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály [online]. [cit.2017-11-9]. Dostupné z http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf

[11] EURO INOX. *Svařování korozivzdorných ocelí* [online]. 2007 [cit.2017-11-21]. Dostupné z http://www.euro-inox.org/pdf/map/BrochureWeldability_CZ.pdf

[12] P. SEJČ a kol. Vybrané technologie – Zváranie a príbuzné procesy. STU, Bratislava. 2006. 128s. ISBN 80-227-2490-4. [cit.2017-12-24]

[13] AMARICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. *Welding of stainless steels and other joining methods*. Nickel Development Institute. No 9002. [online]. [cit.2017-01-01]. Dostupné z: https://www.nickelinstitute.org/~/Media/Files/TechnicalLiterature/WeldingofStainlesssSteelandotherJoiningMethods_9002_.pdf

[14] J. KINDL ing. *Výroba buničiny a papíru.* [online] [cit.2017-11-14]. Dostupné z https://www.mezistromy.cz/drevarstvi/vyroba-buniciny-a-papiru-/odborny

[15] J. MOOSOVÁ ing. bc. *VÝROBA CELULÓZY (BUNIČINY).* [online] [cit.2017-11-14]. Dostupné z http://slideplayer.cz/slide/11386294/

[16] Dokumentace k regeneraci AC lisu MPC-72: Spolana n.p. Neratovice – POS.NR Z1.17 A-D Nassalkalisierung.

[17] BOLZANO. *Materiálové listy*. [online]. [cit.2017-12-1]. Dostupné z http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy

[18] OTOKUMPU. *Stainless Steel Finder*. [online]. [cit.2017-12-1]. Dostupné z http://steelfinder.outokumpu.com/Properties/Default.aspx

[19] J. JANOVEC. *Znalecký posudek 54-17 – Materiálová analýza korozních splodin.* 2017. [cit.2017-12-19]

[20] M. RYTÍŘOVÁ. *Správná praxe ve strojírenské výrobě – Svařovací materiály*. Seminář- ESF v ČR, EU, MŠ MT. registrační číslo: CZ.1.07/3.2.05/05.0011. [cit.2017-12-19]

[21] J. JANOVEC, J. CEJP. *Kovové materiály a jejich zpracování*. ČVUT FS UMI. [online]. [cit.2017-12-19]. Dostupné z http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/4_2_kovove-materialy-a-jejich-zpracovani.pdf

[22] ESAB. Svařování nerezavějících ocelí[online]. [cit.2017-11-21]. Dostupné z http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf

[23] ARMAT. *Specifikace nerezových ocelí*. [online]. [cit.2017-12-1]. Dostupné z http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf

[24] G. MATHERS. *Welding of austenitic stainless steel.* The Welding Institute. [online]. [cit.2017-12-25]. Dostupné z: https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-of-austenitic-stainless-steel-103/

[25] *Welding stainless steels to other steels*. British Stainless Steel Association. [online]. [cit.2017-12-27]. Dostupné z: https://www.bssa.org.uk/topics.php?article=101

[26] K. LYTTLE. *Selecting a shielding gas for joining stainless steel*. FMA The Fabricator. 2004. [online]. [cit.2017-12-27]. Dostupné z: https://www.thefabricator.com/article/consumables/selecting-a-shielding-gas-for-joining-stainless-steel

[27] D. KOTECKI. Stainless Steels Welding. Lincoln Electric. Publication C6.4000. 2014. [cit.2017-12-31].

[28] J. HÁJEK. *Technické plyny pro svařování a dělení materiálů*. Časopis MM Průmyslové spektrum. 2008. [online]. [cit.2017-12-23]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/technicke-plyny-pro-svarovani-a-deleni-materialu.html

[29] ČSN EN 439. *Svařovací materiály – Ochranné plyny pro obloukové svařování a řezání*. Praha. © Český normalizační institut, 1996 [cit.2017-01-02].

[30] K. A. GHANY. *Cutting of austenitic stainless steel sheet using pulsed and CW Nd:YAG laser*. 2005. [online]. [cit.2017-01-03]. Dostupné z: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605003171

[31] ANDRITZ Fiedler GmbH. *Perforationen in Metall*. ANDRITZ. [online]. [cit.2017-01-07]. Dostupné z: https://www.andritz.com/group-en/industries/stainless-steel-pelleting-industry

[32] J. KAŠPAR. *Ochrana kořene svaru a volba vhodného formovacího plynu*. Časopis Konstrukce. 2017. ISSN 1803-8433. [online]. [cit.2017-01-03]. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/clanek/ochrana-korene-svaru-a-volba-vhodneho-formovaciho-plynu/