

Svařování korozivzdorné oceli

Stanislav Hrabica

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Stanislav Hrabica**
Osobní číslo: **T17081**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Svařování korozivzdorné oceli**

Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární studie na dané téma (se zaměřením na typy a použití korozivzdorné oceli a metody pro jejich svařování).
2. Návrh postupů svařování výrobku z korozivzdorné oceli.
3. Vyhodnocení postupů a závěr.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] KOU, Sindo. *Welding metallurgy*. 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience, c2003, xiv, 461 s. ISBN 0471434027.
[2] KOVÁŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000, 186 s. ISBN 80-7082-697-5.
[3] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá svařováním korozivzdorné oceli. V teoretické části práce jsou popsány hlavní skupiny korozivzdorných ocelí, základní pojmy svařování a vybrané metody. Dále jsou zde probírány možné problémy při svařování austenitických ocelí. V praktické části je popis výrobku z korozivzdorné oceli, základní materiál a výběr vhodného přídatného materiálu. Následuje volba parametrů svařování, jejich ověření, technologický postup a popis dílčích kroků výroby.

Klíčová slova: korozivzdorná ocel, svařování

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with welding of stainless steel. The theoretical part of this work describes the main groups of stainless steels. The basic concepts of welding and selected methods are described here. Furthermore, possible problems in welding austenitic steels are discussed. The practical part is a description of the stainless steel product, the basic material and the selection of a filler material. The following is the selection of welding parameters, their verification, technological process and a description of the partial steps of production.

Keywords: stainless steel, welding

Děkuji vedoucímu této práce Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D. za užitečné rady a vedení při tvorbě této práce. Děkuji také svojí ženě za podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOROZE A PASIVACE	12
1.1 ÚČINKY KOROZE	12
1.2 PASIVACE	12
1.3 VYBRANÉ DRUHY KOROZE	13
2 LEGUJÍCÍ PRVKY KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	15
2.1 VLIV LEGUJÍCÍCH PRVKŮ NA FÁZOVÉ PŘEMĚNY OCELI	15
2.2 VLIV AUSTENITOTVORNÝCH PRVKŮ	16
2.3 VLIV FERITOTVORNÝCH PRVKŮ A UHLÍKU.....	16
3 STRUKTURA A ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	19
3.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ.....	19
3.2 MIKROSTRUKTURA.....	19
4 FERITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI	21
4.1 VLASTNOSTI FERITICKÝCH OCELÍ	21
4.2 VYUŽITÍ FERITICKÝCH OCELÍ.....	22
4.2.1 S nižším obsahem chromu (11-13 %Cr, max 0,05 % C)	22
4.2.2 S vyšším obsahem chromu (16-18 % Cr, max 0,05 % C).....	22
5 MARTENZITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI	24
5.1 VLASTNOSTI MARTENZITICKÝCH OCELÍ	24
5.1.1 Chromové martenzitické oceli	24
5.1.2 Chromniklové martenzitické oceli	25
5.2 POUŽITÍ MARTENZITICKÝCH OCELÍ.....	25
6 AUSTENITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI	26
6.1 VLASTNOSTI AUSTENITICKÝCH CHROMNIKLOVÝCH OCELÍ	26
6.1.1 Vliv dusíku na vlastnosti	27
6.2 VLIV LEGUJÍCÍCH PRVKŮ NA STRUKTURU	27
6.2.1 Schäfflerův diagram	27
6.2.2 De-longův diagram.....	28
6.3 POUŽITÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ.....	28
7 DUPLEXNÍ KOROZIVZDORNÉ OCELI	30
7.1 VLASTNOSTI DUPLEXNÍCH OCELÍ.....	30
7.2 POUŽITÍ DUPLEXNÍCH OCELÍ	30
8 ZNAČENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	32

8.1	SYSTÉM OZNAČOVÁNÍ PODLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ ČSN EN 10027-1	32
8.2	ČÍSELNÉ OZNAČOVÁNÍ PODLE ČSN EN 10027-2.....	32
8.3	OZNAČOVÁNÍ PODLE AISI.....	33
9	SVAŘOVÁNÍ.....	34
9.1	TERMINOLOGIE TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ.....	34
10	VYBRANÉ METODY SVAŘOVÁNÍ.....	37
10.1	SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH	37
10.2	METODA MIG/MAG.....	38
10.3	METODA TIG	41
10.3.1	Netavící se elektrody.....	43
10.3.2	Přídavné materiály	43
10.4	ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ.....	43
11	SVAŘOVÁNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ.....	46
11.1	PRASKÁNÍ ZA VYSOKÝCH TEPLOT.....	46
11.2	MEZIKRYSTALOVÁ KOROZE	48
11.3	ZKŘEHNUTÍ VLIVEM SIGMA FÁZE	49
11.4	KOROZE ZA NAPĚTÍ	50
12	NÁBĚHOVÉ BARVY	51
12.1	MOŘENÍ.....	51
12.2	PASIVACE.....	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	52
13	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	53
14	VÝROBEK Z KOROZIVZDORNÉ OCELI.....	54
15	ZÁKLADNÍ MATERIÁL	55
15.1	ODHAD STRUKTURY	55
15.2	NÁCHYLNOST ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU NA VZNIK TEPLÝCH TRHLIN	56
16	PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY A OCHRANNÉ PLYNY.....	57
16.1	OCHRANNÉ PLYNY	58
17	PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ.....	59
17.1	NÁVODKY SVAŘOVÁNÍ.....	59
17.2	METODA MAG	59
17.3	METODA TIG	62
17.4	ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ MATIC.....	64
18	KONTROLA A ZKOUŠENÍ.....	67
18.1	VIZUÁLNÍ KONTROLA	67

18.2	KONTROLA MAKROSTRUKTURY	67
18.3	ZŘEDĚNÍ SVAROVÉHO KOVU SE ZÁKLADNÍM MATERIÁLEM	69
19	VÝROBA.....	72
19.2	SVAŘOVÁNÍ.....	73
19.3	ČIŠTĚNÍ SVARŮ.....	77
19.4	MOŘENÍ A PASIVACE	78
	ZÁVĚR	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
	SEZNAM TABULEK.....	89
	SEZNAM PŘÍLOH.....	90

ÚVOD

Korozní napadení kovů v některých prostředích znali pravděpodobně již staří Egypťané, kteří dobývali měď, cín, železo, olovo a antimon, písemné zprávy o korozních dějích pak lze nalézt například v díle řeckého filozofa Platona (427 až 347 př.n.l.). Snaha o ochranu vůči korozi se z počátku řešila například cínováním (1000 n.l.) a už v 17. století proběhly první pokusy o opatření oceli povlakem mědi. Jako první poukázal na odolnost slitin chromu a železa v lučavce královské Pierre Berthier v roce 1821. Vývoj a výrobu korozivzdorných ocelí lze pak datovat k počátku 20. století. [1]

V dnešní době jsou korozivzdorné oceli důležitou třídou technických slitin, které nacházejí uplatnění v mnoha oblastech použití, od energetického průmyslu po architekturu, až ke zboží denní potřeby. Použití těchto ocelí v oblasti strojů a zařízení vede ke zvyšování jejich technických parametrů. Rozsáhlé používání těchto ocelí proto vedlo ke zkoumání jejich svařitelnosti. [1;17]

Tato bakalářská práce v teoretické části popisuje některé druhy korozního napadení, dále se zabývá legujícími prvky a jejich vlivem na fázové přeměny oceli. Následně rozděluje korozivzdorné oceli na jednotlivé skupiny a popisuje jejich specifické vlastnosti z hlediska mikrostruktury a vhodnosti použití v různých aplikacích a jejich značení v technické praxi. V následující kapitole je úvod do terminologie svařování a popis vybraných metod svařování včetně jejich specifik pro svařování korozivzdorných ocelí. Samostatně je zde řešeno svařování austenitické korozivzdorné oceli se zaměřením na možné problémy.

Praktická část se zabývá svařováním výrobku z austenitické korozivzdorné oceli rozdílnými metodami svařování, pro které je třeba zvolit správné přídavné materiály a další parametry vstupující do procesu svařování, které je třeba ověřit a zdokumentovat. Výroba svařence, která probíhá na základě ověřených parametrů, se zabývá také správnými postupy pro zachování antikorozních vlastností zpracovávaného materiálu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOROZE A PASIVACE

Koroze lze definovat jako samovolně probíhající proces znehodnocování materiálu. Koroze probíhá za působení okolního prostředí, obvykle kapalného nebo plynného. Korozi podléhají spolu s kovovými materiály i materiály nekovové, jako jsou polymery, silikátové stavební hmoty, sklo, keramika atd. [2]

Za nejrozšířenější korozní prostředí lze považovat zemskou atmosféru, která může mít na různých místech značně proměnlivou agresivitu. Významné prostředí tvoří také půdy a přírodní vody.

Ve výrobních technologiích je to prostředí kyselin, zásad, organických chemikálií, plynů a prostředí působící za zvýšených teplot a tlaků, vodních pár, roztavených kovů apod. [2]

1.1 Účinky koroze

Korozní prostředí se liší degradačními účinky na materiál z hlediska mechanismu nebo intenzity. [2]

V závislosti na intenzitě působení se jedná o **úbytek materiálu** vlivem korozních zplodin na povrchu součásti (oxidy, sulfidy, rovnoměrná koroze). Může dojít i k **proděravění materiálu** při lokalizaci koroze na malou plochu (koroze důlková, bodová, štěrbinová). Za určitých podmínek může vzniknout i **strukturní koroze** (mezikrystalová, selektivní).

Z hlediska mechanismu se může jednat o korozi **chemickou**, kde ke znehodnocení dochází působením materiálu a korozního prostředí nevodivých kapalin a plynů. Nejčastěji se jedná o oxidaci kovu v prostředí přehřáté páry (vznik okují). Dále pak o korozi **elektrochemickou**, u které ke znehodnocení dochází působením kovů s různým elektrickým potenciálem. Vzniká elektrický proud, který se mění v teplo. Předpokladem pro její působení je přítomnost elektricky vodivého prostředí, které se nazývá elektrolit. [3]

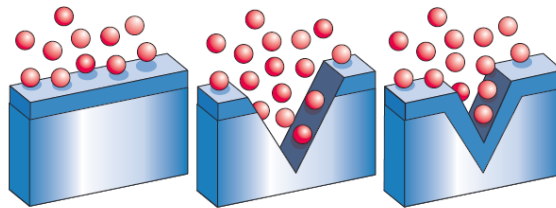
1.2 Pasivace

Korozní odolnost korozivzdorných ocelí je dána oxidickou vrstvou na povrchu, která je bohatá na chrom. Tento stav povrchu je zajišťuje pasivace. [4] Nutná podmínka pro vznik pasivace je obsah chromu v tuhém roztoku nad cca 12 hm %. Obsah chromu je ale závislý na obsahu uhlíku v oceli. [5]

K pasivaci dochází v prostředí, ve kterém působí dostatečné množství kyslíku, potřebné pro vznik oxidické vrstvy na kovově čistém povrchu oceli.

Tento proces probíhá spontánně a automaticky. Tloušťka této vrstvy se dále zvětšuje s časem. Vrstva je transparentní. [4]

Pasivační vrstva na povrchu korozivzdorné oceli se při porušení ve vhodném prostředí (působení kyslíku) sama obnovuje. Korozivzdorné oceli proto nevyžadují povrchovou úpravu ani jiné systémy korozní ochrany. [4]



Obr. 1 Obnova pasivační vrstvy za působení kyslíku [4]

V některých případech může být pasivační vrstva porušena a nemusí se zpět obnovit. Povrch se pak na daném místě stává aktivním a koroduje. Jedná se o oblasti, kde je zamezeno přístupu kyslíku například: mechanické spoje, nepřístupné rohy nebo chybné svary. Korozí se poté projeví ve formě důlkové nebo štěrbinové korozí. [4]

1.3 Vybrané druhy korozí

Z hlediska výskytu korozí může nastat **korozí celková** (rovnoměrná), u které koroduje rovnoměrně celý povrch ve styku s elektrolitem. Rychlost celkové korozí bývá někdy značně vysoká. Na rozdíl od nerovnoměrné korozí se ale jedná o nejméně nebezpečný druh korozního napadení. Napadení je rovnoměrné a lze předpokládat rozsah poškození. [1]

Mezi **nerovnoměrné druhy korozí** lze zařadit několik typů korozního napadení. Například **bodová korozí** vzniká místním poškozením pasivní vrstvy, především v prostředí obsahujícím ionty Cl a jiné oxidující látky. **Důlková korozí** vzniká porušením pasivační vrstvy, na rozdíl od bodové je poměr šířky a hloubky důlku malý. **Štěrbinová korozí** se vyskytuje v místech, kde je špatný oběh korozního prostředí, vznikají lokální rozdíly v koncentracích kyslíku. Jedná se především o štěrbinu a jemné kapiláry. **Mezikrystalová korozí** vzniká za předpokladu, že hranice zrn mají rozdílné chemické složení v porovnání s objemem materiálu. Tento stav často vzniká v důsledku segregáčních a precipitačních procesů. Dále pak **korozí selektivní**, která napadá jen určité fáze nebo složky. **Korozí za**

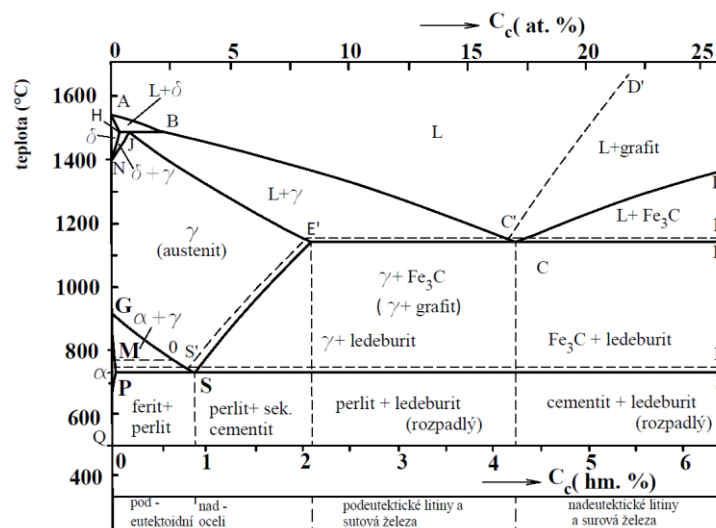
napětí zase vzniká za současného působení koroze a mechanického napětí. Vede k praskání a křehkému lomu konstrukčních materiálů. [2]

2 LEGUJÍCÍ PRVKY KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Základní přísadou všech korozivzdorných ocelí je **chrom**, který je nezbytný pro pasivovatelnost a zajišťuje odolnost vůči oxidaci při vyšších teplotách. Také podstatně zvyšuje korozní odolnost v oxidačních prostředích. Dalším důležitým prvkem je **nikl**, který stabilizuje austenit za pokojové teploty, za nízkých teplot a také při působení plastických deformací. Příklad **dušiku** do 0,2 hm% zvyšuje pevnostní vlastnosti a zároveň nesnižuje odolnost vůči mezikrystalové korozi. Zajišťuje stabilizaci austenitu při tváření za studena. Spolu s molybdenem zvyšuje odolnost proti bodové a štěrbinové korozi. **Křemík** v koncentracích 3 až 4 % odstraňuje náchylnost k mezikrystalové korozi a zvyšuje odolnost vůči celkové korozi. K podstatnému zvýšení odolnosti téměř ve všech korozních prostředích lze dosáhnout přísadou **molybdenu**, který poskytuje ochranu hlavně vůči bodové a štěrbinové korozi. Zvyšuje žárupevnost, ale nemá dobrý vliv na žáruvzdornost. Ke zvýšení žáruvzdornosti se přidává **hliník**. Odolnost vůči mezikrystalové korozi zlepšují **titan** a **niob**. [1]

2.1 Vliv legujících prvků na fázové přeměny oceli

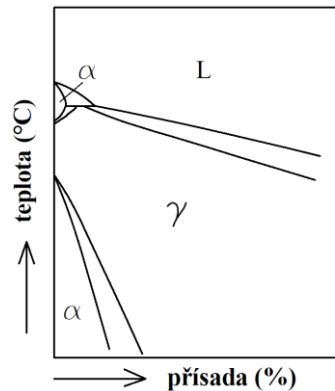
Nejdůležitější legující prvky lze rozdělit do dvou skupin. **Austenitotvorné prvky** (C, Ni, Cu, Mn, N) rozšiřují v rovnovážném diagramu Fe₃C oblast γ . **Feritotvorné prvky** (Cr, Mo, Si, Al, W, Ti, Nb, V) naopak oblast γ zužují. [5]



Obr. 2 Diagram Fe-Fe₃C [2]

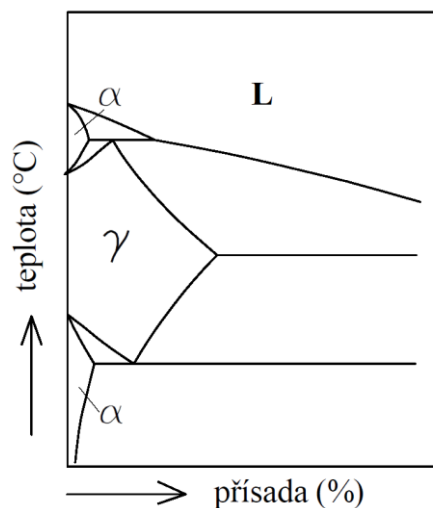
2.2 Vliv austenitotvorných prvků

Vlivem austenitotvorných prvků se rozšiřuje oblast, ve které je austenit stabilní. Rozšiřováním oblasti dochází ke snížení teploty A_3 a zvýšení teploty A_4 . Do určitých koncentrací legujícího prvku neprobíhá u těchto ocelí žádná fázová přeměna a nelze je ani zjemnit překrytizačním žháním. Oceli tímto složením není možné ani kalit. [2]



Obr. 3 Diagram Fe - austenitotvorný prvek. [2]

Austenitotvorné prvky C a N rozšiřují oblast austenitu v omezené míře. Oblast fáze γ je ohraničena oblastí která je heterogenní (obsahuje austenit a další fázi). [2]

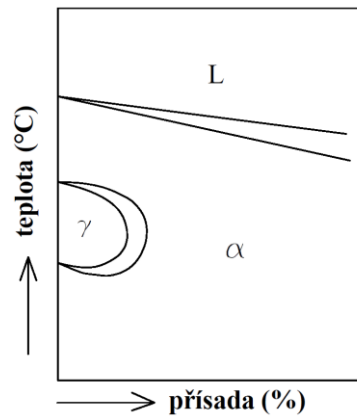


Obr. 4 Diagram Fe-C,N oblast austenitu je omezena další fází. [2]

2.3 Vliv feritotvorných prvků a uhlíku

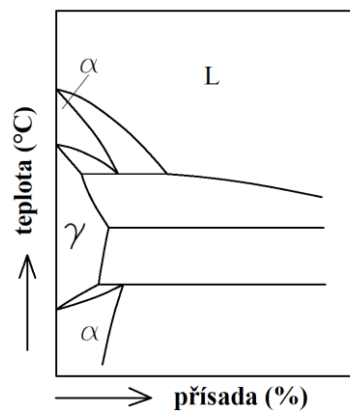
Oblast, ve které je ferit stabilní, se rozšiřuje působením feritotvorných prvků. Feritotvorné prvky zvyšují teplotu A_3 a snižují teplotu A_4 . Po překročení určité koncentrace těchto prvků se oblast γ zcela uzavře. Do této skupiny patří Cr, Si, Al, W, Mo, V a Ti. Oceli tohoto typu

tuhnou feriticky a nad určitou koncentrací legujícího prvku nemají také přeměnu $\alpha \rightarrow \gamma$, nelze je proto překrytizačně žíhat ani kalit. [2]



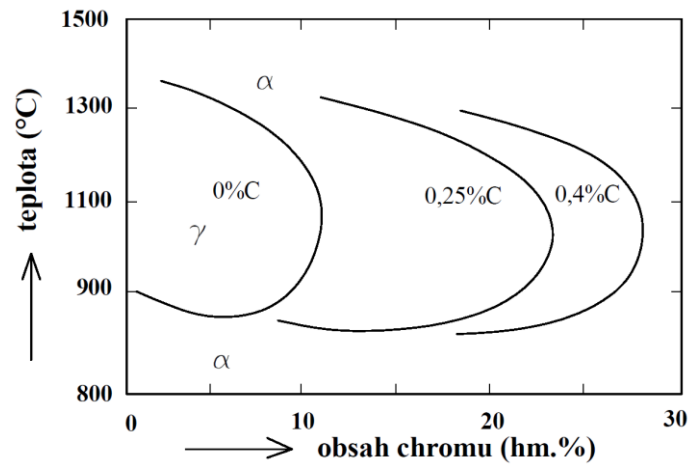
Obr. 5 Diagram Fe-feritotvorný prvek, ferit stabilní v celé oblasti koncentrace. [2]

Feritotvorné prvky Ta, Zr, B, S, Ca, O také uzavírají oblast γ , obklopuje ji ale další oblast, která je heterogenní. [2]



Obr. 6 Diagram Fe-feritotvorný prvek, oblast feritu omezena. [2]

U skutečných slitin je třeba počítat s působením ostatních prvků, které značně mění tvar výše zmíněných binárních diagramů. Například působení uhlíku, který rozšiřuje oblast γ je znázorněno na Obr. 7. [2]



Obr. 7 Rozšíření oblasti γ vlivem působení uhlíku ve slitině Fe-Cr. [2]

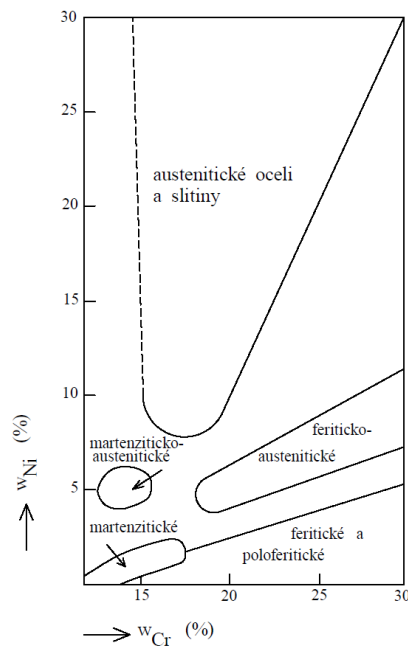
3 STRUKTURA A ROZDĚLENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ

Korozivzdorné oceli lze rozdělit podle obsahu hlavních legujících prvků a jejich mikrostruktury do čtyř základních skupin: [5]

- 1) Feritické oceli (chromové)
- 2) Martenzitické oceli (chromové)
- 3) Austenitické (chrom-niklové)
- 4) Austeniticko-feritické (duplexní)

3.1 Chemické složení

Korozivzdorné oceli obsahují 12-30 % chromu a až 30 % niklu (niklové slitiny mohou obsahovat i více). Chrom zajišťuje pasivitu těchto ocelí a je proto základním prvkem zajišťující odolnost vůči celkové korozi. Dolegování niklem zajišťuje lepší korozní odolnost a houževnatost. Mangan (austenitotvorný prvek) může do jisté míry nahradit nikl. [1]

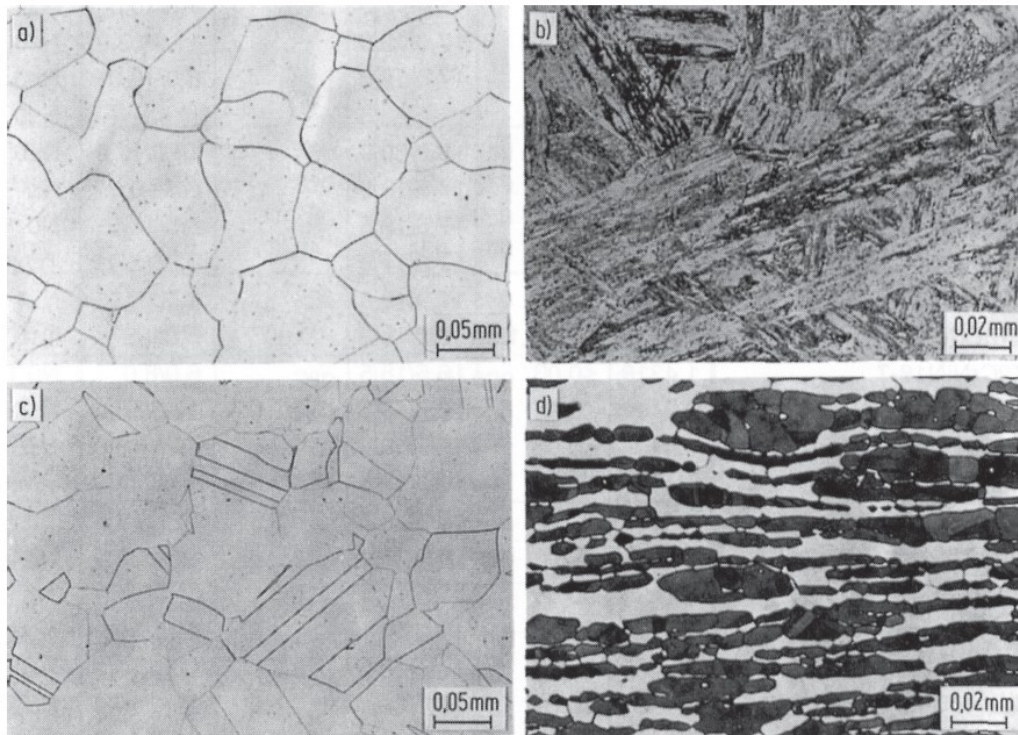


Obr. 8 Oblasti chemických složení různých typů korozivzdorných ocelí. [1]

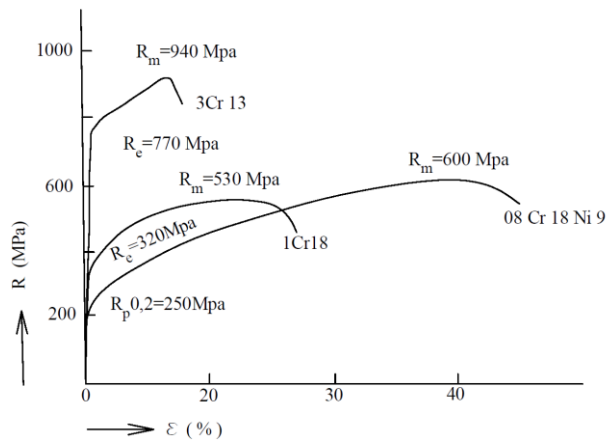
3.2 Mikrostruktura

Chrom, nikl a další slitinové prvky jsou sice v korozivzdorných ocelích ve velkém množství, základním prvkem ale stále zůstává slitina železa s uhlíkem. Struktura korozivzdorných ocelí

je výsledkem působení austenitotvorných a feritotvorných prvků. Mikrostruktura má vliv také na mechanické vlastnosti těchto ocelí. [1;5]



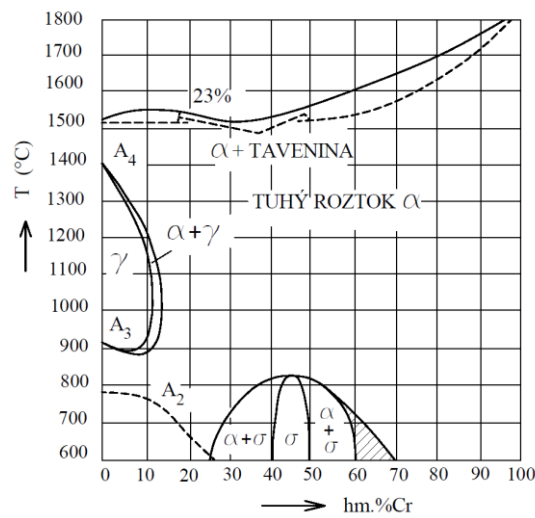
Obr. 9 Typické příklady struktur: a) materiál s feritickou strukturou, b) materiál s martenzickou, c) s austenitickou strukturou, d) austeniticko feritickou [4]



Obr. 10 Příklady tahových křivek martenzické oceli (3 Cr 13), feritické (1Cr18) a austenitické (08 Cr 18 Ni 9). [1]

4 FERITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI

U feritických ocelí je obsah chromu od 10,5 do 30 % a obsah uhlíku do 0,8 %. Mohou být také dolegovány prvky Mo, Ni (1,6 %) nebo Al. V závislosti na obsahu feritotvorných a austenitotvorných prvků může být výsledná struktura plně feritická nebo feritická s podílem martenzitu (polo feritické oceli). Struktura polo feritických ocelí odpovídá úzké oblasti $\alpha + \gamma$ v rovnovážném diagramu Fe-Cr, za touto oblastí je struktura plně feritická. [5]



Obr. 11 Rovnovážený diagram železo-chrom [5]

Při aplikacích diagramu železo-chrom je třeba brát v úvahu vliv uhlíku. Uhlík posouvá oblast γ směrem k vyšším obsahům chromu. Například 0,1 % C tuto oblast rozšíří až k 18 hm%. [5]

4.1 Vlastnosti feritických ocelí

Polo feritické se využívají především jako žáruvzdorné do teploty 950 °C, jako korozivzdorné méně často. **Plně feritické oceli** se využívají více a lze je rozdělit v závislosti na obsahu chromu do tří skupin.

Oceli s obsahem 11-13 %Cr – pro potlačení martenzitické přeměny jsou u nich použity přísady Al, Ti, Nb.

Oceli s obsahem 16-18 %Cr – mohou být stabilizované titanem nebo niobem (lepší svařitelnost).

Oceli s obsahem nad 20-30 %Cr – nejvíce korozně odolné feritické oceli. [1]

4.2 Využití feritických ocelí

Plně feritické korozivzdorné oceli mají některé důležité vlastnosti. Například ve srovnání s austenitickými typy nejsou citlivé ke korozi pod napětím v roztocích, které obsahují chloridy. Mez kluzu mají o 50% vyšší (300–400 MPa) a málo se zpevňují při tváření za studena. Bývají magnetické a neobsahují nikl, proto je také jejich cena nižší. Jejich nevýhodou je obtížnější svařitelnost (hrubne zrno při svařování i tepelném zpracování). [6] V závislosti na obsahu chromu a uhlíku je možné je použít v těchto aplikacích.

4.2.1 S nižším obsahem chromu (11-13 %Cr, max 0,05 % C)

Jejich použití bývá většinou omezeno jen na atmosférické podmínky, nebo na vodnatá media. Patří zde například ocel 1.4512 s obchodním názvem REMANIT. Používá se na výfukové systémy automobilů, dále pak na spotřební zboží typu jako například zahradní grily nebo venkovní kování dveří. [6;7]



Obr. 12 Příklad použití oceli 1.4512 [7]

4.2.2 S vyšším obsahem chromu (16-18 % Cr, max 0,05 % C)

Díky vyššímu obsahu chromu se u nich dosahuje lepších korozivzdorných vlastností. Oceli tohoto typu jsou magnetické, běžně se používají při výrobě přístrojů a nástrojů pro domácnost (myčky na nádobí, chladničky, pánve). Patří zde například ocel 1.4016, která má přijatelnou korozní odolnost i cenu, ale horší svařitelnost. Pro využití ke svařování je třeba použít typy stabilizované Ti nebo Nb (např. 1.4509). Stabilizované typy se také používají jako součásti hořáků a ohřívačů. Stabilizovaná ocel 1.4510 díky menší tepelné roztažnosti oproti austenitickým ocelím lze využít například pro velké pracovní plochy profesionálních kuchyňských stolů. [4]



Obr. 13 Příklad použití oceli 1.4510 [4]

5 MARTENZITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI

Jedná se o oceli, které obsahují až 18 % chromu, obsah uhlíku může být až 1,5 %. Při ohřevu na teplotu odpovídající oblasti austenitu a následném zakalení u nich vzniká martenzitická struktura. Obsah chromu v těchto ocelích způsobuje, že se zmenšuje kritická rychlost ochlazování austenitu a také se snižuje teplota M_s . Na rozdíl od uhlíkových ocelí vzniká u těchto ocelí martenzit i při volném ochlazování na vzduchu. [1] Obsah uhlíku u těchto ocelí má vliv na tvrdost, pevnost a svařitelnost. S rostoucím obsahem uhlíku roste pevnost na úkor plastických vlastností. Tyto oceli jsou zaručeně svařitelné do 0,14 % uhlíku (při dodržení předepsaných postupů). [6] Snižování obsahu uhlíku a zachování martenzitické struktury je u těchto ocelí možné pomocí legování niklem. Vzhledem k obsahu uhlíku a niklu je možné je rozdělit podle tabulky 2. [1]

Tab. 1 Rozdělení martenzitických ocelí. [1]

		Obsah uhlíku (hm %)	Obsah chromu (hm%)
Oceli chromové (Ni pod 1%)	Skupina I	do 0,15	11,5 až 13,5
	Skupina II	0,2 až 0,4	12,0 až 14,5
	Skupina III	0,6 až 1,5	16,0 až 18,0
	Skupina IV	do 0,2	15,0 až 18,0
Oceli chromniklové Ni nad 2%	Skupina V	do 0,05	(Ni 2 až 4%) 13,0 až 16,0 (Ni 3 až 6%)

5.1 Vlastnosti martenzitických ocelí

U martenzitických ocelí se dosahuje požadovaných vlastností až po tepelném zpracování, které se skládá z kalení na vzduchu a následného popouštění. Kalicí teplota bývá kolem 900°C. Popouštěcí teploty se určují v závislosti na požadovaných mechanických vlastnostech (600-620 °C). [2]

5.1.1 Chromové martenzitické oceli

Pro tento druh ocelí platí závislost mezi obsahem chromu a uhlíku (skupina I až III). Při vyšším obsahu chromu a nízkém obsahu uhlíku by po tepelném zpracování vznikal ferit, který by nepříznivě ovlivňoval požadované mechanické vlastnosti (hlavně pokles houževnatosti). Oceli skupiny I až II mají dobré mechanické vlastnosti i korozní odolnost, jsou proto nejvíce používané. Skupina III se používá hlavně pro dosažení vyšší tvrdosti (nižší tažnost i korozní odolnost). [1]

Tab. 2 Závislost tvrdosti na obsahu uhlíku po kalení a popouštění. [7]

Obsah C v hmotnostních %	Tvrdost HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60

5.1.2 Chromniklové martenzitické oceli

U těchto ocelí funkci uhlíku (schopnost zakalení) plní nikl, jehož obsah se pohybuje v rozmezí 2–6 %. Schopnost zakalení u těchto ocelí zůstává zachována bez nepříznivých účinků vysokého obsahu uhlíku (vysoký nárůst tvrdosti). [7;1] Nikl zároveň dovoluje zvýšit obsahy chromu na 16–18 %. Tím, že zabraňuje vzniku nadměrného množství feritu, umožňuje legování feritotvornými prvky (molybden pro zvýšení korozní odolnosti). Oceli s vyšším obsahem niklu (skupina V) mají po tepelném zpracování austeniticko-feritickou strukturu, jsou také dobře svařitelné. [1]

5.2 Použití martenzitických ocelí

Chromové oceli jako je například ocel X20Cr 13 (1.4021), která patří do této skupiny a obsahuje 0,15% uhlíku a více, se používá na čepele běžných kuchyňských nožů. Pro velmi kvalitní nože je možné použít ocel X50CrMoV 15 (1.4116), které dlouho drží ostří. Ocel X105CrMo17 (1.4125), která obsahuje 1 % uhlíku lze použít například pro součásti čerpadel vystavené otěru. [7]

Chromniklové oceli tohoto typu se používají například k výrobě armatur pro přehřátou páru, ventilů, klapek, součásti čerpadel a vodních turbín. Lze je využít také při výrobě turbokompresorů nebo regulačních prvků jaderných reaktorů. Jedna z ocelí vhodná pro stavbu vodních zařízení je například X3CrNiMo13-6. [1;2] Oceli tohoto typu s obsahem niklu 4–6 % a nízkým obsahem uhlíku lze (s dodržením technologických postupů) svařovat. Tato vlastnost je výhodná z hlediska opravárenství a umožňuje například opravovat opotřebené součástky vodního díla přímo na místě. [6]

6 AUSTENITICKÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI

Austenitické oceli mají příznivou kombinaci korozní odolnosti zpracovatelnosti a mechanických vlastností, jedná se proto o nejvýznamnější skupinu korozivzdorných ocelí. [7] Název austenitické je dán tím, že si zachovávají austenitickou strukturu i za pokojové teploty, a dokonce i za velmi nízkých teplot. Nejčastěji obsahují 18 až 20 % Cr a 8 až 11 % Ni. Tyto oceli mají větší korozní odolnost a větší houževnatost než předchozí typy. Větší houževnatost je dána tím, že austenitická struktura má v porovnání s feritickou lepší plastické vlastnosti. Austenitické oceli je možné podle obsahu legujících prvků rozdělit do tří skupin. [1;2;5]

- **Chromniklové** - (12–25 % Cr, 8 až 38 % Ni)
- **Chrommanganniklové** - (12–22 % Cr, 5–12 % Mn, 3–8 % Ni)
- **Chrommanganové** - (10–18 % Cr, 14–15 % Mn)

Mangan jako austenitotvorný prvek může do jisté míry nahrazovat nikl. Chrommanganniklové a chrommanganové oceli se kvůli nižší korozní odolnosti a technologickým potížím už prakticky nepoužívají. Mangan u nich většinou nahrazoval v té době těžko dostupný nikl. Představiteli těchto typů jsou například ČSN 17 471 a 17 483. [5]

6.1 Vlastnosti austenitických chromniklových ocelí

Kromě již zmíněného množství chromu a niklu obsahují tyto oceli 0,01 až 0,15 % uhlíku. Mohou být dolegovány prvky jako jsou molybden, křemík, měď, které se používají pro zvýšení odolnosti vůči celkové korozi. Stabilizovány mohou být prvky jako je titan a niob, které zároveň dopomáhají ke zvýšení odolnosti vůči mezikrystalové korozi a zlepšení mechanických vlastností. Pro zvýšení mechanických vlastností se používá také dusík. [1].

Austenitické oceli jsou houževnaté, mají tažnost až 40 %, jejich mez kluzu je ale nízká (200–300 MPa). Dále mají dobrou chemickou odolnost v kyselinách, ale jsou hůře obrobitelné. [2] Z důvodu nepřítomnosti fázových přeměn je tento druh, stejně jako je tomu u feritických ocelí, citlivý k růstu zrn. Nárůst zrna nelze upravit zpět tepelným zpracováním, ale nevede ke zkřehnutí. Tyto oceli se při tváření za studena značně zpevňují natolik, že může vznikat zbytková deformační martenzitická struktura. Proto se v některých aplikacích používá jako tepelné zpracování rozpouštěcí žíhání při teplotách 1000–1150 °C. Na rozdíl od martenzitických ocelí nelze austenitické zakalit. [1;7]

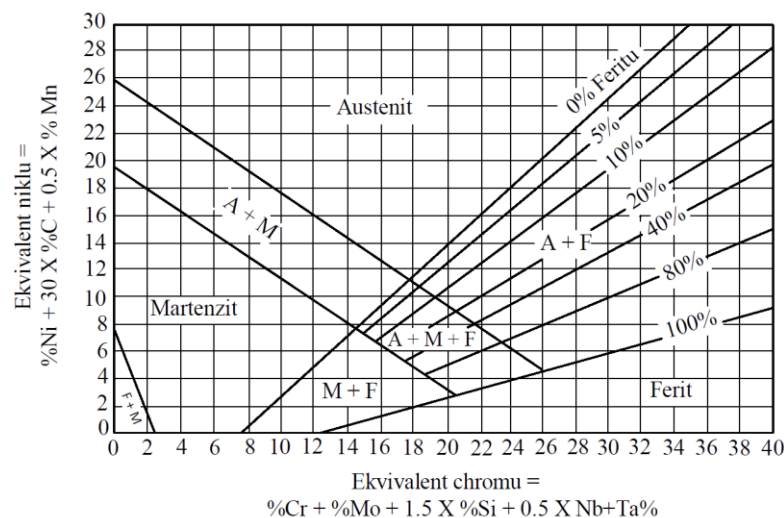
6.1.1 Vliv dusíku na vlastnosti

Největší účinek při zvyšování hodnot meze kluzu mají prvky uhlík a dusík. Zvyšování obsahu uhlíku ale není příznivé pro korozní odolnost a strukturu těchto ocelí. Naopak dusík nemění odolnost vůči korozi (ani k mezikrystalové). Přísadou malého množství dusíku (0,10 % až 0,20 %) je možné dosáhnout vyšších hodnot meze kluzu a zachovat plastické vlastnosti. [1;7]

6.2 Vliv legujících prvků na strukturu

Některé legující prvky, například molybden, rozšiřují oblast feritu a tím narušují čistě austenitickou strukturu. Podíl feritu je sice výhodný například u svařování, kde pomáhá snižovat náchylnost k tvorbě teplých trhlin, vyšší množství ale snižuje antikorozi vlastnosti. V jiných aplikacích zase znesnadňuje tváření za tepla (protlačování trubek). Výslednou strukturu je možné odhadovat následujícími diagramy. [1;5]

6.2.1 Schäfflerův diagram

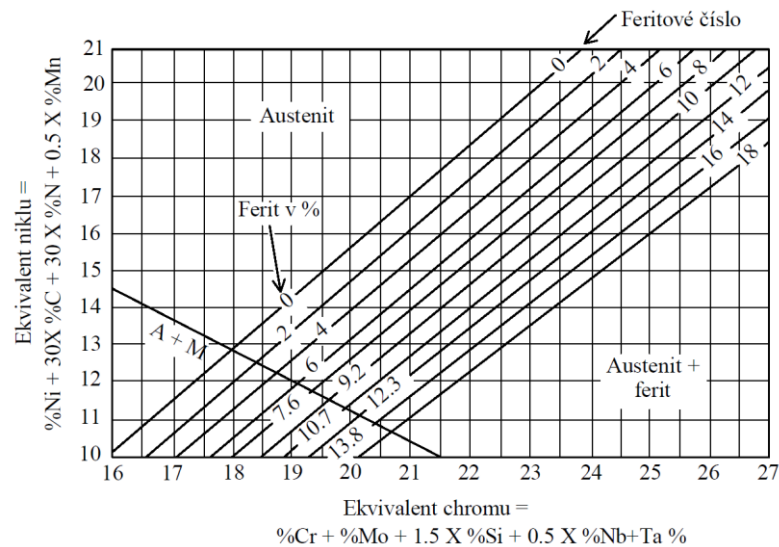


Obr. 14 Schäfflerův diagram [8]

V schäfflerově diagramu ekvivalent niklu vyjadřuje vliv daných austenitotvorných prvků. Ekvivalent chromu zase vyjadřuje vliv daných feritotvorných prvků na strukturu.

Tento diagram lze použít i na jiné typy korozivzdorných ocelí.

6.2.2 De-longův diagram



Obr. 15 De-longův diagram [8]

De-longův diagram je přesnější než Schäfflerův diagram, protože je v něm zařazen dusík jako důležitý austenitotvorný prvek (koeficient 30). Lze proto použít pro austenitické oceli legované dusíkem. Dostatečná přesnost diagramu je 0–15 % feritu ve struktuře. Není vhodné ho používat pro oceli s vysokým obsahem manganu. Upravené diagramy podle novějších metod měření obsahu feritu ve struktuře obsahují ještě feritové číslo. Je to dáno tím, že nad cca 10 % feritu jsou výsledky novějšího měření jiné. [5]

6.3 Použití austenitických ocelí

AISI 304 (1.4301) - hovorově se nazývá „potravinářská“. Je to nejrozšířenější a nejpoužívanější korozivzdorná ocel na trhu. Obsah uhlíku má nízký, má dobré mechanické vlastnosti i svařitelnost, používá se do teplot 300–350 °C. Antikorozi odolnost má horší v prostředích, kde je vyšší koncentrace agresivních chemických látek. Mezi široké spektrum použití patří například: potravinářský průmysl (mlékárenství, pivovarnictví, vinařství), farmaceutický průmysl, architektura a design, konstrukce motorových vozidel, zdravotnická zařízení. [9]

AISI 304L (1.406) - proti předchozí má velmi nízký obsah uhlíku. Lepší tvárnost za studena, lepší odolnost proti mezikrystalové a celkové korozi, ale horší obrobitelnost. Používá se v aplikacích, kde je požadavek na mírně vyšší korozní odolnost proti předchozí variantě. [9]

AISI 303 (1.4305) – hovorově se nazývá „automatová“, protože je za účelem lepší obrobitelnosti legovaná sírou. Vyšší obsah síry mírně zhoršuje korozní odolnost a mechanické vlastnosti. Svařitelnost je obtížná. [9]

AISI 321 (1.4541) – je stabilizována titanem, má vyšší mez kluzu oproti AISI 304, dobrá je také její odolnost vůči mezikrystalové korozi po svařování. Pro tlakové nádoby se může použít do teplot 400 °C. Je vhodná především pro konstrukce, kde materiál svou tloušťkou převyšuje 6 mm. Oproti předchozím se používá na více mechanicky namáhané přístroje, konstrukční díly a spojovací prvky. Využití nachází například ve farmaceutickém a chemickém průmyslu. Přítomnost titanu u této oceli způsobuje horší leštitelnost. [9]

AISI 316L (1.4404) – má dobrou odolnost vůči kyselinám (při dodržení nižších koncentrací a středních teplot), výrazně zvýšena je také odolnost proti všem typům koroze (včetně mezikrystalové a důlkové v roztocích chloru). Svařitelnost a mechanické vlastnosti má také dobré. Používá se v chemickém průmyslu, je vhodná pro styk s mořskou vodou a bazénové doplňky. [9]

AISI 316 Ti (1.4571) – je stabilizována titanem s přísadou molybdenu. Má dobré mechanické vlastnosti i svařitelnost. Díky přísadě molybdenu a titanu má vyšší odolnost v kyselinách, oproti předchozí variantě ale nelze leštit do vysokého lesku. [9]

Žáruvzdorné oceli AISI 309 (1.4828), AISI 309 S (1.4833) – dobrá odolnost vůči oxidaci vzduchem až do teploty 800–1000 °C, jejich svařitelnost je dobrá (u průvarů větších než 3mm náchylnost k mezikrystalové korozi). Dobrá obrobitelnost. [9]

Žáruvzdorné oceli AISI 310 a AISI 310S (1.4845) – odolnost vůči oxidaci vzduchem 850-1050 °C. Dobře svařitelné (průvar až 6mm bez náchylnosti k mezikrystalové korozi). Obtížná obrobitelnost. [9]



Obr. 16 Příklady využití oceli AISI 304 (1.4301) [4]

7 DUPLEXNÍ KOROZIVZDORNÉ OCELI

Duplexní oceli mají 40 až 60 % austenitu ve feritické matici. Výsledný poměr těchto fází nezávisí jen na chemickém složení, ale také na tepelném zpracování. Jako tepelné zpracování se u těchto ocelí uplatňuje rozpouštěcí žihání (1020 – 1100 °C s následným ochlazením ve vodě). Obsahují 21 – 28 % chromu, 3,5 – 8 % niklu, 0,1 – 4,5 % molybdenu a 0,05 – 0,35 % dusíku. Dolegovávají se také mědí a wolframem. Legující prvky nebývají rovnoměrně rozděleny mezi oběma fázemi. Zjednodušeně je možné říct, že austenitotvorné prvky se soustřeďují v austenitu a feritické zase ve feritu. Tyto oceli lze rozdělit na **nízkolegované**, které mají obvykle nízký obsah molybdenu, dále pak **středně legované**, u kterých je obsah molybdenu vyšší, a **vysoce legované**, které mají zvýšený obsah chromu, molybdenu a wolframu. [1;5]

7.1 Vlastnosti duplexních ocelí

Oproti austenitickým ocelím mají duplexní větší pevnost a také dobré hodnoty tažnosti. Vyšší pevnost v porovnání s austenitickými omezuje jejich tvárnost. Pevnost lze stejně jako u austenitických a feritických skupin zvýšit tvářením za studena, ale tepelným zpracováním to není možné. Z důvodu nižšího obsahu niklu bývají levnější než austenitické. Po tepelném zpracování bývají zhruba dvakrát pevnější než austenitické. Tyto oceli lze použít v širokém rozsahu korozních prostředí. Mají vyšší odolnost vůči štěrbinové korozi a koroznímu praskání. [10] Nejsou náchylné k mezikrystalové korozi, ale může se u nich vyskytovat nožová koroze. Jsou také mírně magnetické. Z důvodu feritu ve struktuře nemají tak dobré hodnoty při zkoušce nárazové práce v záporných teplotách jako austenitické. Oblast, ve které vzniká křehký lom (tranzitní teplota), se u nich může snížit až na -100 °C. Používají se do teplot 300 °C. [5]

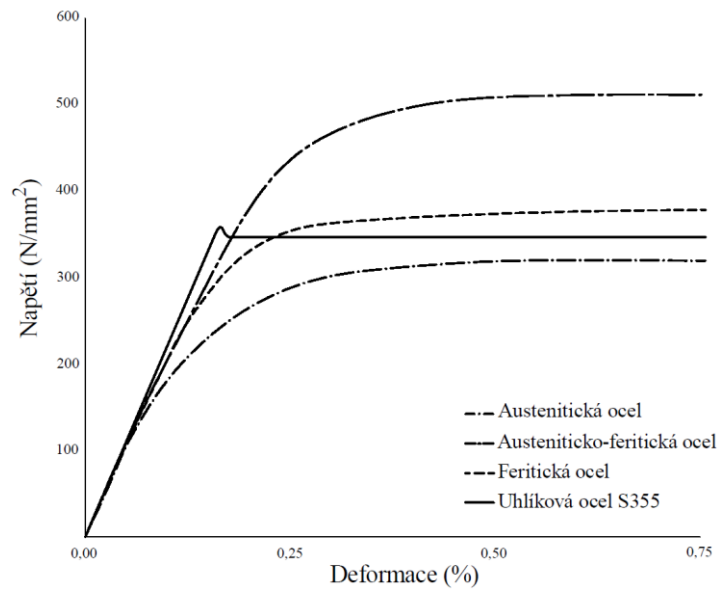
7.2 Použití duplexních ocelí

Obecně se nízkolegované typy používají jako náhrada austenitických ocelí v prostředí, ve kterém hrozí náchylnost ke koroznímu praskání. Středně legované mají využití v chemickém průmyslu a u stavby těžebních plošin v moři. Vysoce legované nacházejí využití v silně korozních prostředích. [5] Pro příklad jsou zde uvedeny typy:

AISI 317LN (1.4462) - která je velmi odolná vůči korozi, a proto nachází použití v přímořských oblastech a jiných agresivních prostředích. Smluvní mez kluzu se pohybuje

v rozmezích 400-500 MPa. Využití nachází také v chemickém jaderném a petrochemickém průmyslu. [9;10]

AISI 630 (1.4542) - obsahuje přísady mědi, a to zlepšuje její použití v redukčních kyselinách. Dále pak niob, který omezuje vznik koroze u svarových spojů. [4]



Obr. 17 Pracovní diagramy korozivzdorných ocelí a uhlíkové, od 0 do 0,75 % deformace. [10]

8 ZNAČENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELI

Korozivzdorné oceli se označují podle různých systémů. Vybrané systémy značení jsou uvedeny v následujících tabulkách a popisech.

8.1 Systém označování podle chemického složení ČSN EN 10027-1

Označování podle chemického složení pro ocele s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku nad 5 % (neplatí pro rychlořezné) má následující složení:

- písmeno X charakteristické pro tuto skupinu,
- číslo, které odpovídá stonásobku středního obsahu uhlíku,
- chemické značky hlavních legujících prvků,
- čísla, která udávají obsahy těchto prvků.

Například:

X10CrNi 18-8 – korozivzdorná ocel, obsah uhlíku je 0,1 %, 18 % chromu, 8 % niklu.

X210CrW12 – korozivzdorná ocel s 2,1 % uhlíku, 12 % chromu a neudávaný obsah wolframu. [12]

8.2 Číselné označování podle ČSN EN 10027-2

Tab. 3 Systém číselného označování ČSN EN 10027-2 [10]

Příklad	Číslo	Význam
1.4307	1	ocel
	43	třída korozivzdorné oceli
	07	Identifikační číslo podtřídy

Hlavní třídy korozivzdorných ocelí lze na základě číselného označování rozdělit.

Tab. 4 Rozdělení hlavních tříd ocelí. [10]

Třída	Popis
1.40XX	Korozivzdorná ocel s Ni < 2,5 % bez Mo, Nb a Ti
1.41XX	Korozivzdorná ocel s Ni < 2,5 % a Mo ale bez Nb a Ti
1.43XX	Korozivzdorná ocel s Ni ≥ 2,5 % ale bez Mo, Nb a Ti

1.44XX	Korozivzdorná ocel s $Ni \geq 2,5 \%$, a Mo ale bez Nb a Ti
1.45XX	Korozivzdorná ocel se speciálními přísadami.
1.46XX	Chemicky odolné a vysoce temperované třídy s Ni

8.3 Označování podle AISI

Ve značení podle AISI se ušlechtilé a korozivzdorné oceli rozdělují do tří skupin. Značení tohoto typu ocelí je trojmístné (na rozdíl od jiných typů).

Tab. 5 Značení podle AISI [13]

Číselná řada	Význam
3xx	Chromniklové oceli (nekalitelné, nemagnetické)
4xx	Chromové oceli (kalitelné, magnetické)
	Chromové oceli (nekalitelné, feritické, magnetické)
5xx	Chromové oceli (žárovzdorné)

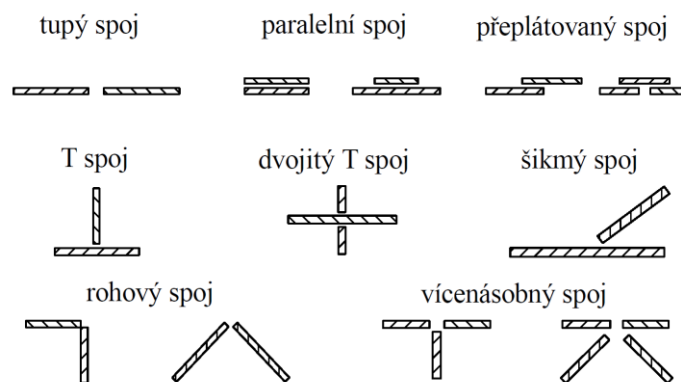
9 SVAŘOVÁNÍ

Svařování lze definovat jako proces, při kterém se zhotovují nerozebíratelné spoje dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly za působení tepla nebo plastické deformace, případně při jejich vzájemném působení. Na základě této definice lze svařování rozdělit na **tavné**, které probíhá místním ztavením svařovaných dílů bez použití tlaku, a **tlakové**, při kterém je k dokonalému svaření tlak nezbytný. [14]

Metody, které se používají v dnešní době při mechanickém opracování materiálů, včetně leštění a honování, nezajistí takovou přesnost, která by zajistila přiblížení všech míst povrchu na meziatomovou vzdálenost. Proto je nutné přivést do daných ploch energii, aby došlo k vytvoření svarového spoje. Toho lze dosáhnout například pomocí výboje plynu (elektrický oblouk), pomocí záření (laser, elektronový paprsek) nebo pomocí tření, kde svar vzniká pohybem svařovaných součástí. [15]

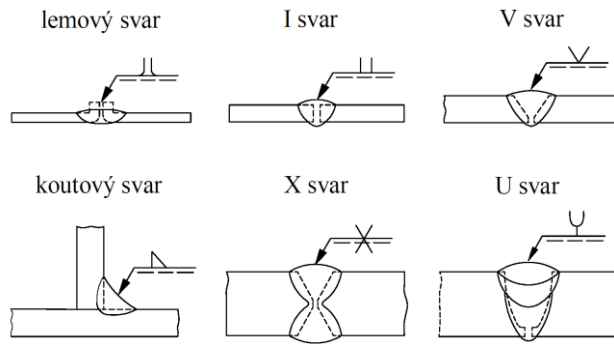
9.1 Terminologie tavného svařování

Svarový spoj – nerozebíratelné spojení zhotovené svařováním. Vzhledem k různému sestavení spojovaných dílů mohou nastat například typy spojů: [12;14]



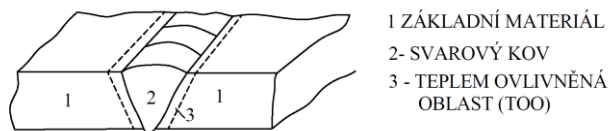
Obr. 18 Typy svarových spojů vzhledem k sestavení svařovaných dílů [12]

Svar – část svarového spoje, která vznikla následkem krystalizace roztaveného kovu (tavné svařování), nebo plastické deformace (tlakové). Příklady typů svarů pro tavné svařování v závislosti na vzájemné poloze, tloušťce a tvaru svařovaných dílů: [12;14]



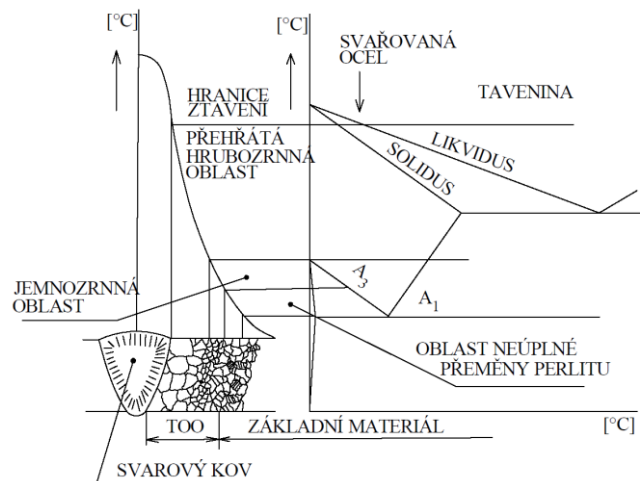
Obr. 19 Vybrané typy svarů s příkladem jejich označování ve výkresové dokumentaci. [12]

Přídavný materiál – materiál, který umožňuje, nebo usnadňuje vytvoření svarového spoje. Přidává se do svarové lázně, s roztaveným základním materiálem tvoří po ztuhnutí svarový kov. [14]



Obr. 20 Schéma svarového spoje vytvořeného tavným svařováním. [14]

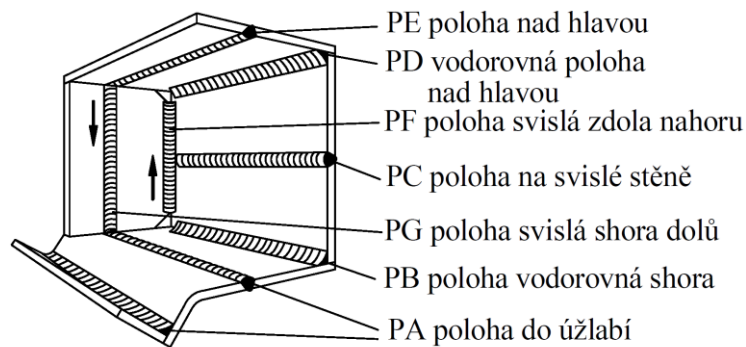
Teplem ovlivněná oblast – část základního materiálu, u které došlo ohřevem ke změně struktury a vlastností, ale nedošlo k roztavení.



Obr. 21 Tepelně ovlivněná oblast tavného svaru. [1]

Poloha svařování – nejvýhodnější poloha pro svařování je poloha vodorovná shora (u koutového svaru do úžlabí), roztavený materiál neztéká, dobrý přístup. U velkých celků, stavebních konstrukcí a podobně, nelze tato poloha vždycky uplatnit. Proto jsou v normě

ČSN EN ISO 6947 stanoveny termíny pro polohy svařování a k nim příslušné symboly. [12,15]



Obr. 22 Názorný přehled poloh svařování na plechu [12]

Metoda svařování – volba vhodné metody závisí na svařovaných materiálech a dalších faktorech. Metody svařování (a příbuzných technologií) rozděluje norma ČSN EN ISO 4063 do základních skupin s číselným značením. Jedná se například o svařování obalenou elektrodou (111), svařování tavící se elektrodou v ochraně aktivního plynu (135), bodové odporové svařování (21), svařování netavící se elektrodou v ochraně inertního plynu (141), svařování kyslíko-acetylenovým plamenem (311) a další.

Jednotlivé metody svařování je možné srovnávat na základě jejich základních parametrů jako je například:

- maximální teplota, kterou je možné daným zdrojem dosáhnout ve °C,
- nejmenší plocha ohřevu v cm²,
- největší plošná hustota energie ve W/cm². [15]

10 VYBRANÉ METODY SVAŘOVÁNÍ

Pro svařování korozivzdorných ocelí se používají obdobné postupy svařování jako u uhlíkových ocelí. Výjimkou je například svařování kování, které u svařování korozivzdorných ocelí nelze použít. Také svařování plamenem není pro tyto oceli příliš vhodné a nahrazuje se kvůli řadě nedostatků obloukovými metodami. Ostatní postupy se používají s technickými úpravami kvůli odlišným vlastnostem těchto ocelí. [1]

10.1 Svařování v ochranných atmosférách

Hlavním znakem těchto metod je, že svarová lázeň vytvořená elektrickým obloukem je chráněna vůči působení okolní atmosféry ochranným plynem. Plyn se používá buď aktivní, nebo inertní. Inertní plyn (Ar, He) na rozdíl od aktivního (Co₂, Ar+Co₂), nevstupuje do reakcí, které probíhají ve svarové lázni. Tyto metody mohou být také snadno mechanizovány a automatizovány. V současné výrobě jsou hodně používané. [14] Podle druhu elektrody a ochranného plynu je možné je rozdělit:

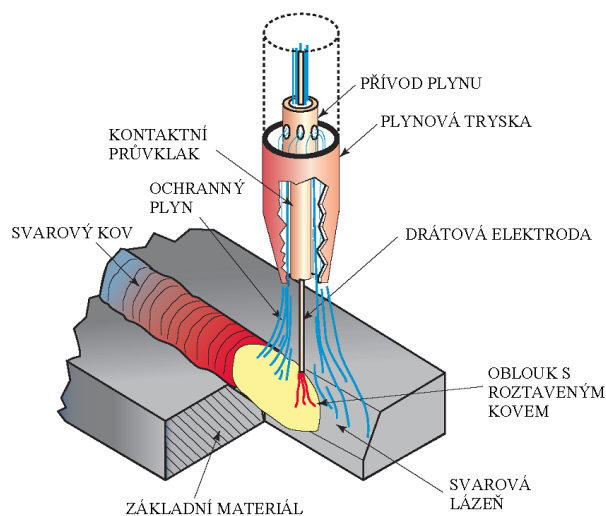
- **MIG** (Metal Inert Gas) – svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu.
- **MAG** (Metal Activ Gas) – svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu.
- **WIG** (Wolfram Inert Gas) – svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu. Namísto zkratky WIG (němčina) se v angličtině tato metoda označuje zkratkou TIG – Tungsten Inert Gas [15]

Tab. 6 Rozdělení podle stupně automatizace u jednotlivých metod [16]

Výrobní úkon	Ruční Například: 111	Poloautomatické Například: 135	Mechanizované Například: 135	Automatické Například: 135
Udržování oblouku	Svářeč	Zařízení	Zařízení	Zařízení
Doplnění přídavného materiálu	Svářeč	Zařízení	Zařízení	Zařízení
Kontrola rychlosti svařování	Svářeč	Svářeč	Zařízení	Zařízení
Ovlivnění parametrů během svařování	Svářeč	Svářeč	Svářeč	Zařízení

10.2 Metoda MIG/MAG

Elektrodu oblouku tvoří přídavný materiál (drát), který se odtavuje. Plynulý přísun drátu navinutého na cívce zajišťují podávací kladky, drát poté prochází bowdenem do svařovacího hořáku. Ve svařovacím hořáku prochází drát kontaktním proudovým průvklakem, který zajišťuje rovnoměrné napájení svařovacím proudem. Ochranu oblouku a svařového kovu zprostředkovává plynová tryska, která má za úkol do určité vzdálenosti zajistit laminární proudění plynu. [14;15]

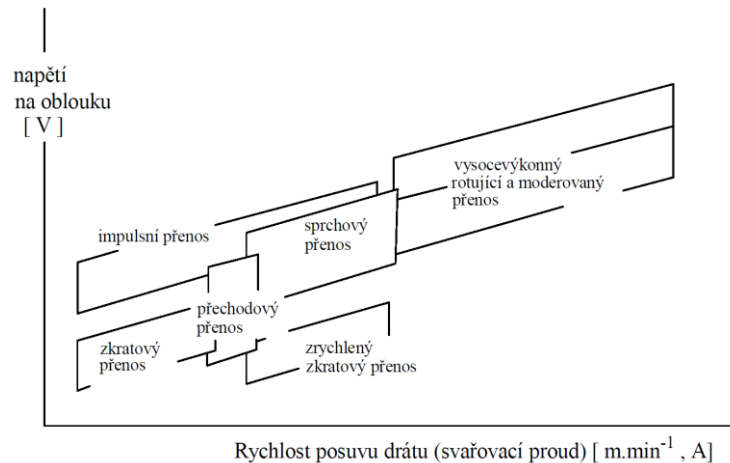


Obr. 23 Schéma zařízení pro svařování metodou MIG/MAG. [16]

Pro metody MIG/MAG jsou charakteristické vysoké proudové hustoty ($100 - 400 \text{ Amm}^{-2}$). Při zapojení nepřímou polaritou (elektroda + pól) má vysoká proudová hustota za následek vysokou odtavovací rychlost přídavného materiálu. Z toho vyplývá, že je možné dosáhnout vysokých odtavovacích rychlostí a velkého výkonu navaření. Díky vysoké proudové hustotě vzniká v úkosu svaru slabě ionizovaná plazma. Teplota této plazmy se pohybuje okolo $10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ u metody MAG a $12\,000 \text{ }^\circ\text{C}$ u metody MIG. Teplo využitě obloukem se pohybuje kolem 80-90 % (poměrně vysoká hodnota). [14]

10.2.1 Přenos kovu v oblouku

Přenos kovu v oblouku je jedna ze základních charakteristik těchto metod. Je závislý v první řadě na svařovacích parametrech (proudu a napětí). Výrazně ho také ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování. [15]

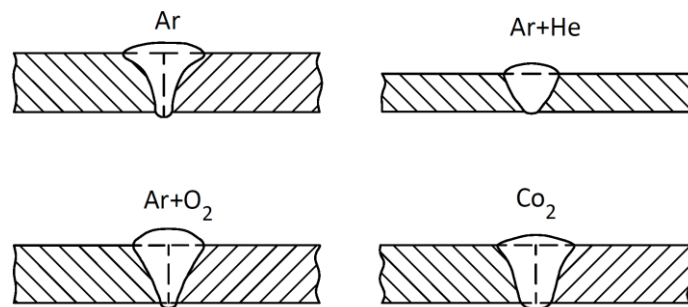


Obr. 24 Druhy přenosu kovu v oblouku. [15]

Při **zkratovém přenosu** dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se odděluje část elektrody. U metod MIG/MAG se používá na svařování tenkých plechů a kořenových vrstev. Jeho použití je vhodné při svařování ve všech polohách. Dochází při něm ke značnému rozstříku kovu do okolí. **Bezskratový kapkový přenos** (přechodový) vzniká při průměrných hodnotách oblouku (napětí 22 až 28 V, proud 190 – 300 A). Vysoký proud natavuje konec elektrody do velké kapky, která je následně vymrštěna vysokou rychlostí do svarové lázně. Z důvodu velkého rozstříku a hrubých svarových housenek se příliš nepoužívá. [11] **Sprchový přenos** lze realizovat za působení vysokého tepelného příkonu a proudové hustoty, při použití směsných plynů například Ar+Co₂ (Ar minimálně 80 %), nebo v čistém argonu. Proces je stabilní, téměř bez rozstříku. Používá se hlavně pro výplňové housenky větších tlouštěk materiálů. Jeho omezení bývá většinou jen na vodorovnou polohu svařování (velká tavná lázeň). Zvláštní formu bezskratového přenosu kovu je **impulsní přenos**, který lze realizovat při parametrech zasahujících do oblasti zkratového i sprchového přenosu (kombinace kapkového a sprchového přenosu). Přenos kovu obloukem je řízen elektronicky, tím se dosahuje pravidelný cyklus, který určuje frekvence amplitudy impulzního proudu. Při přenosu se pravidelně střídá základní (nižší) proud a impulsní (vyšší) proud. Lze ho využít v širokém rozsahu tepelných příkonů. Největší přednost má při svařování tenkých materiálů. Přenos kovu je velmi stabilní, prakticky bez rozstříku. K jeho realizaci je třeba použít plyny na bázi argonu. Použití čistého Co₂ není možné. Mezi jeho výhody patří například menší vnesené teplo (nižší hodnota efektivního proudu). Svařování je s tímto přenosem možné také v polohách. Je velmi vhodný pro svařování hliníku, jeho slitin a vysocelegovaných ocelí. Při svařování korozivzdorných ocelí je proto vhodné, vzhledem k nižším hodnotám vneseného tepla, používat především impulsní přenos. [11;15]

Ochranné plyny

Ochranné plyny kromě své primární funkce ochrany tavné lázně před působením atmosféry ovlivňují také celou řadu vlastností, jako je například způsob přenosu kovu obloukem, hloubka závaru, tvar a rozměry svaru. Mají také vliv na stabilitu oblouku, ovlivňují chemické složení kovu a ve výsledku také rychlost svařování. [11,15]



Obr. 25 Vliv ochranného plynu na tvar a rozměry svaru [11]

Legující prvky u korozivzdorných ocelí (především Cr) zapříčiňují, že svarová lázeň je u těchto ocelí značně hustá. Díky této hustotě vzniká při svařování převýšení, které je nežádoucí, a zároveň ostrý přechod svarové housenky do základního materiálu. Z tohoto důvodu je dobré používat ochranné plyny s malým procentem kyslíku. Kyslík podstatně snižuje napětí na povrchu tavné lázně. Působením kyslíku proto vzniká svar s příznivějším průřezem a přechodem do základního materiálu, zároveň zlepšuje odplynění svarové lázně. [15]

Jako ochranné plyny pro svařování korozivzdorných ocelí lze použít například tyto směsi: **Ar + 2 % CO₂** směs není vhodné používat na typy korozivzdorných ocelí s velmi nízkým obsahem uhlíku, jinak je možné s touto směsí svařovat všechny druhy. Tato směs je vhodná především pro zkratový přenos a snižuje rozstřík.

Ar+ 2 % O₂ je směs vhodná pro zkratový sprchový i impulsní přenos.

Ar+ 30 až 50 % He + 1 až 2 % O₂ tato směs zabezpečuje stabilní hoření, příznivý profil svaru a výkon odtavování bez nebezpečí nahřívání svarové lázně. Je vhodná pro zkratový i sprchový přenos, často se používá u mechanizovaného a robotizovaného svařování. [15]

10.2.2 Přídavné materiály

Pro svařování metodou MIG/MAG se používají drátové, nebo trubičkové elektrody které mají vhodné chemické složení a operativní vlastnosti při svařování. Dodávají se navinuté na

speciálních cívkách, v obalu, který brání poškození a znehodnocení. Přídavný materiál u metody MIG/MAG plní tyto funkce:

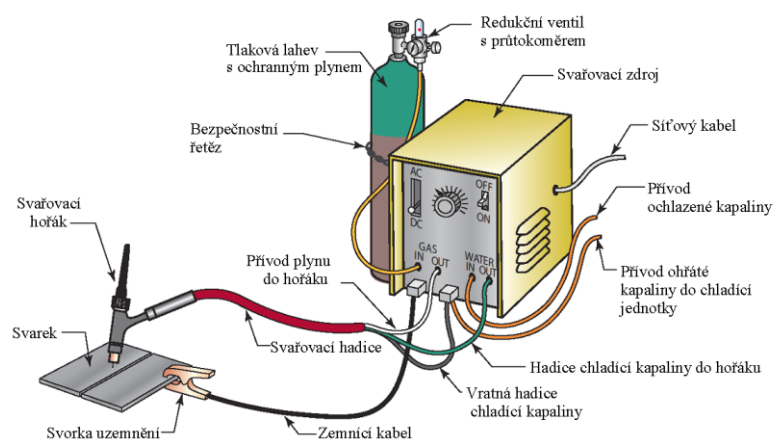
- Doplnuje objem svarové lázně a vytváří požadovaný průřez svaru.
- Nahrazuje prvky, které v důsledku svařování vyhořely, nebo se snížila ve svaru jejich koncentrace.
- Dodává legovací a dezoxidační přísady do svaru.
- Je elektrickým vodičem proudu. [11]

Drátové elektrody pro svařování MAG mají většinou zvýšený obsah křemíku a manganu, z důvodu většího propalu těchto prvků a potřebné dezoxidace svarové lázně. Pro svařování je třeba zajistit vhodný průřez elektrody. Drátové elektrody pro svařování ocelí se vyrábí v průměrech 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6mm. [11]

10.3 Metoda TIG

Při svařování metodou TIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochrana svarové lázně a netavící se elektrody před účinky okolní atmosféry je zajištěna inertním plynem (argon o minimální čistotě 99,995 %, helium nebo jejich směs). Přídavný materiál může být dodáván do svarové lázně ručně, nebo automaticky (s použitím podavače).

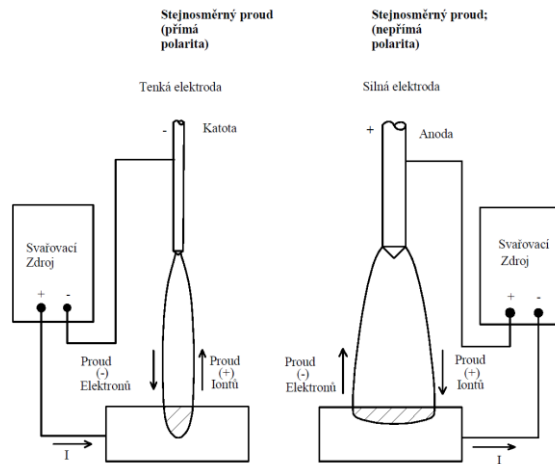
Svařovat je možné stejnosměrným, nebo střídavým proudem. Stejnosměrný proud se používá pro středně a vysoce legované ocel, měď, nikl, zirkon molybden a další. Střídavý proud pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. [15]



Obr. 26 Schéma zařízení pro svařování metodou TIG [16]

Při svařování **stejnosměrným proudem** se obvykle používá přímá polarita (elektroda na záporném pólu zdroje). Toto zapojení je výhodné z hlediska rozdělení tepla. Na elektrodě je

pouze 1/3 tepla oblouku, takže je méně zatěžována. Zbylé 2/3 tepla oblouku připadá na základní materiál, to má za následek velkou hloubku závaru. Přímá polarita se používá při svařování oceli, mědi, niklu, titanu. Nepřímá polarita se používá pouze ve zvláštních případech svařování hliníku. [15]



Obr. 27 Vliv polarity na tvar svarové lázně [17]

Mezi **výhody** této metody patří například, že svary provedené touto metodou jsou kvalitní, s jemnou povrchovou kresbou. Na rozdíl od předchozí metody, zde není žádný rozstřík. Svařovat lze i bez použití přídavného materiálu. Použití ve vysokém rozsahu parametrů.

Svařují téměř všechny kovy, včetně svařování dvou odlišných kovů. Svářeč má dobrou kontrolu nad vneseným teplem a dobrý výhled na svarovou lázeň (nevzniká kouř jako u jiných metod). [17]

Mezi **nevýhody** lze zařadit, že ručním svařování jsou větší nároky na zkušenosti a zručnost svářeče, než u metody MIG/MAG. Také odtavovací rychlost je při svařování nižší. Na rozdíl od metody MIG/MAG je svařování TIG méně ekonomické u tlouštěk materiálů větších než 10 mm. Problematické je také svařování při vystavení povětrnostním podmínkám. [17]

Při **svařování korozi-vzdorných ocelí** metodou TIG je třeba vzít v úvahu jejich fyzikální a metalurgické vlastnosti a dodržovat určité postupy. Základem je pečlivá příprava svarových ploch, vysoká čistota a přesné sestehování. Dále je vhodné použít upínací přípravky a chladících podložky pro zvýšený odvod tepla z místa svaru. Svařovat stejnosměrným proudem s nepřímou polaritou. Pro tenké plechy a kořenové vrstvy je vhodné použít pulzující oblouk. Na kořen svaru vždy použít sekundární ochranu. Minimální tepelný příkon, malé proudy a rychlosti. Ochlazovat na předepsanou teplotu interpass. [11]

10.3.1 Netavící se elektrody

Netavící se elektrody se vyrábějí ze spékaného wolframu z důvodu jeho teploty tavení (3380 °C) a teploty varu (5700 °C). Elektrody mohou být bez příměsí (99,9 % W), nebo legované oxidy thoria, lanthanu, ceru, zirkonu, iridia. Oxidy značně snižují teplotu ohřevu elektrody, zvyšují její životnost a dopomáhají také ke zlepšení zapalování oblouku a jeho stabilnímu hoření. Na základě chemického složení jsou elektrody barevně značeny. Průměr elektrody se volí podle proudového zatížení (průměry 0,6 – 6,4mm). Elektrody se na neoznačené straně brousí na požadovaný úhel, který je závislý na druhu svařovacího proudu, polaritě, velikosti svařovacího proudu a druhu základního materiálu. [15]

10.3.2 Přídavné materiály

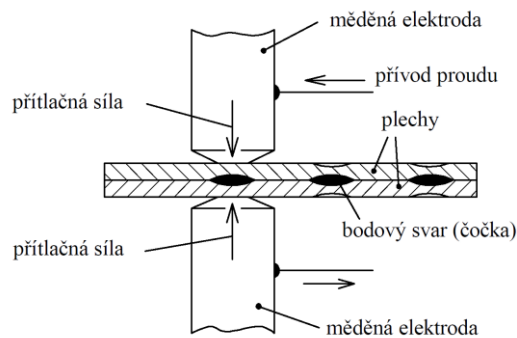
Přídavné materiály pro metodu TIG se dodávají ve formě tyček pro ruční svařování a cívek pro automatizované svařování. Svařovací tyčky jsou dráty s kruhovým průřezem a potřebné jakosti. Dodávají se v délkách 600 – 1000 mm a průměrech 1 – 8 mm. Pro svařování se používají plné tyčky, v některých případech jako je například navařování, mohou být plněné. Svařovací dráty jsou navinuty na cívkách. Dodávají se v průměrech 0,6 – 2,4mm. [15]

10.4 Odporové svařování

Odporové svařování se řadí mezi metody tlakového svařování. U této metody se teplo, které je potřebné k vytvoření svarového spoje, nedodává zvenčí, ale vzniká přímo ve svařovaných materiálech. Lze ho charakterizovat základními vlastnostmi jako jsou vysoké rychlosti svařování a nezávislost na poloze. Odporově lze svařovat většina kovů. Využití této metody je vhodné pro malosériovou i velkosériovou výrobu. [15]

10.4.1 Bodové svařování

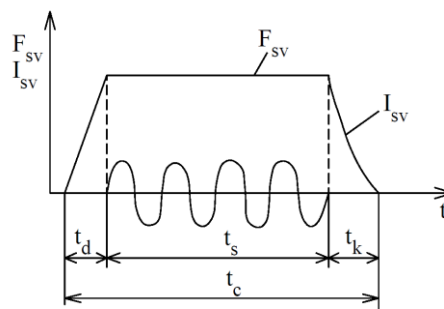
Patří k nejdůležitějším variantám odporového svařování (spolu se švovým). Při bodovém svařování se svařované díly přeplátují a poté se stlačí tyčovými elektrodami připojenými k transformátoru. Po spuštění transformátoru začne mezi elektrodami a sestavenými díly procházet proud. V místě styku svařovaných materiálů začne vznikat vysoký přechodový odpor, vytvoří se teplo, které stykové plochy roztaví. Po vypnutí proudu stálého působení tlaku materiál ztuhne a vznikne svarová čočka. Tlak, který působí na elektrody lze vyvinout mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. Napětí při svařování jsou nízká (0,5 – 10 V). Svařované plechy bývají v rozsahu tloušťek 0,4 – 4 mm. [14;15]



Obr. 28 Schéma bodového svařování [12]

Parametry nastavované při odporovém svařování:

- Svařovací proud (střídavý – 10^3 až 10^5 A)
- Svařovací čas (0,04 – 2 s)
- Přítlačná síla ($500 - 10^4$ N) [14;15]



Obr. 29 Časový průběh svařování jednoho bodu [11]

Na obr. 29 je průběh svařování jednoho bodu. Osa y popisuje velikost proudu I_{sv} a přítlačná síla F_{sv} . Na ose x je vynesena čas t . Před začátkem svařování síla F_{sv} naběhne na potřebnou hodnotu v dosedacím čase t_d . V celém časovém úseku zapnutého proudu t_s působí síla F_{sv} . Po vypnutí proudu klesá síla zpět v časovém úseku t_k , který se nazývá kovací tlak. V případě že by ke klesání síly došlo při zapnutém proudu, mělo by to za následek vznik dutin ve svaru. [11]

Režim bodového svařování

Energii potřebnou pro vytvoření svaru lze dodat dvěma režimy nastavení parametrů. **Tvrdým režimem**, u kterého se používají velké proudy (200 až 500 A/mm²), krátké časy (zhruba $0,16$ s) a velké přítlačné síly (zhruba 2000 N). Při svařování v tvrdém režimu je vyšší účinnost a tím i levnější provoz. Menší opotřebení elektrod (méně se zahřívají). Pro dosažení

požadovaných parametrů jsou třeba vyšší náklady na zařízení (hydraulický nebo pneumatický přitlak, elektronická regulace). Nebo použitím **měkkého režimu**, který je charakteristický použitím malých proudů (do 200 A/mm²), dlouhých časů (0,5 s), a malých přitlačných sil (do 1000 N). Při tomto režimu vznikají ztráty tepla sáláním do okolí. Dochází také k většímu opotřebením elektrod. Obtisky od elektrod na svařovaných materiálech jsou hlubší, také vznikají větší deformace svařence. Tento režim se využívá pro svařování materiálů náchylných k zakalení. [11]

Tab. 7 Příklady parametrů pro svařování vybraných druhů korozivzdorných ocelí [18]

Tloušťka plechu (mm)	Průměr hrotu elektrody (mm)	Přítlačná síla elektrody (daN) ^a	Svařovací proud (A)	Doba svařování (počet period) ^b
18%Cr-9% Ni austenitická ocel				
0,5	3,0	170	3500	3
0,8	4,5	300	6000	4
2,0	6,0	650	11000	8
stabilizovaná 17% Cr feritická ocel				
0,5	3,0	150	4000	3
0,8	4,5	250	7550	4
^a 1 daN=10N				
^b 1 perioda= 0.02 s				

11 SVAŘOVÁNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ

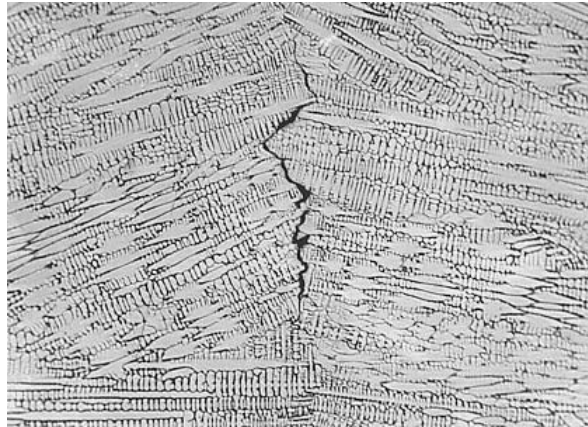
Austenitické oceli mají kromě své tažnosti, rázové houževnatosti a jiných výhodných vlastností, také dobrou svařitelnost. Oproti feritickým mají o 50 % vyšší teplotní roztažnost a o 30 % menší tepelnou vodivost, to znamená vznik větších deformací způsobených svařováním. Skupina austenitických ocelí je vzhledem k mnoha variantám obsahů legujících prvků poměrně rozsáhlá. V závislosti na daných typech mohou vznikat při svařování následující problémy:

- praskání za vysokých teplot (teplé trhliny),
- mezikrystalová koroze,
- zkřehnutí způsobené vznikem fáze σ ,
- koroze za napětí. [5;8]

11.1 Praskání za vysokých teplot

Termín praskání za vysokých teplot zastřešuje trhliny, které při vysokých teplotách vznikají v různých místech svaru. Trhliny se mohou vyskytovat přímo ve svarovém kovu nebo v tepelně ovlivněné oblasti. Trhliny bývají často malé a jejich počet je většinou velký. V tepelně ovlivněné zóně mohou být kolmé k linii natavení, rovnoběžné se směrem tuhnutí nebo v ose svarové lázně. Nejvíce jsou na tento typ praskání náchylné čistě austenitické materiály. U austenitických ocelí se jedná o jediný typ praskání, který může nastat v důsledku svařování. Trhliny mohou vzniknout v důsledku likvačních procesů, nebo nedostatečné tažnosti. **Likvační procesy** mohou nastat tehdy, když jsou na hranicích zrn při vysoké teplotě (přibližně 1250 °C) přítomny kapalné fáze (například místní zpoždění tuhnutí) a okolní kov je již pevný. Jakékoliv napětí pak umožní jejich otevření. Praskání v důsledku **nedostatečné tažnosti** vzniká při nižších teplotách (přibližně 1000 °C). Způsobuje ho srážení určitých fází (například karbidy), které snižují tažnost materiálu. [5;19]

Oba typy praskání mohou vzniknout ve svarovém kovu, nebo v tepelně ovlivněné oblasti při opakovaném ohřevu (vícevrstvé svařování). Trhlina se může také vzniknout jako likvační a dále pokračovat v důsledku nedostatečné tažnosti. Vznik teplých trhlín mohou také způsobovat prvky jako je S, P, Si, Ti, Nb. Tyto prvky mohou snižovat plasticitu mezi dendrity při tuhnutí, nebo vytvářet se železem a niklem nízkotavitelné fáze, které následně snižují pevnost hranic zrn. [5;19]



Obr. 30 Mikrotrhlina v ose svarového kovu austenitické oceli [8]

Opatření proti vzniku trhlin

Základní opatření vůči praskání za vysokých teplot je malé množství δ feritu ve struktuře svarového kovu (vhodný výběr přídavného materiálu). Vysoké obsahy feritu ve struktuře naopak vedou ke snížení korozní odolnosti a možnosti vzniku fáze σ . Podíl feritu při pokojové teplotě lze měřit metalograficky (plošně), nebo magnetometricky (objemově). Výsledný podíl feritu ve svarovém kovu lze odhadnout podle diagramu Schaefflerova, De-Longova nebo WCR 1992 v závislosti na chemickém složení dané oceli. [5]

Pro austenitické oceli stabilizované Nb lze pro hodnocení náchylnosti ke vzniku trhlin použít následující vztahy:

$$L = 299 \cdot hm \cdot \%C + 8 \cdot hm \%Ni + 142 \cdot hm \%Nb - 5,5 \cdot hm \% \delta^2 - 105 \quad (1)$$

$$\Delta H = -700 \cdot hm \cdot \%C + 17 \cdot hm \cdot \%Cr - 37 \cdot hm \cdot \%Ni - 117 \cdot hm \cdot \%Nb + 29 \cdot hm \%Mo + 188 \quad (2)$$

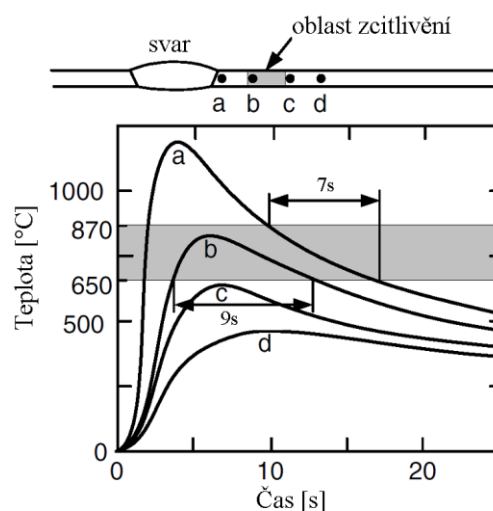
Je-li $L > 0$ a $\Delta H < 100$ jedná se o ocel náchylnou na vznik teplých trhlin. [5]

Vznikem teplých trhlin u austenitických ocelí se zabývá také norma ČSN EN 1011 – 3, která doporučuje například použití přídavných materiálů s nízkým obsahem nečistot a zvýšeným obsahem Mn. Také tuhost upnutí svařenců by neměla být příliš vysoká. Tepelný příkon při svařování nízký a úzké svarové lázně. Teplotu interpass předepisovat maximálně na 150 °C.

Rychlosti svařování je třeba také snížit, poměr mezi výškou a šířkou svarového kovu udržovat v rozmezí 1 až 1,5. [20]

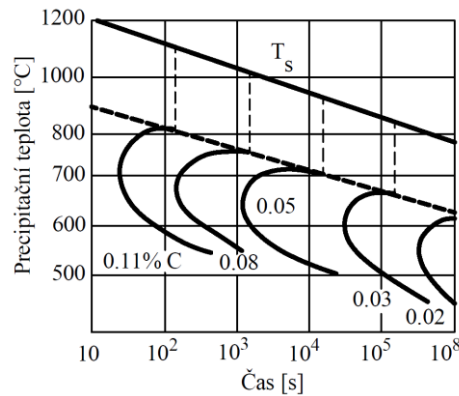
11.2 Mezikrystalová koroze

Příčinou vzniku mezikrystalové koroze je proces zvaný zcitlivění. Zcitlivění u austenitických ocelí probíhá při pomalém chlazení, nebo při dlouhodobém vystavení teplotám 400 – 850 °C. Za těchto teplot se, především na hranicích austenitických zrn, tvoří karbidy ($M_{23}C_6$) s vysokým obsahem chromu. Tvořící se karbidy vyčerpávají chrom v sousední matici, ve které klesá obsah chromu až pod 12 % hm. Závažnost tohoto procesu závisí na čase, teplotě a médiu, ve kterém expozice probíhá. Zcitlivění může nastat bohužel i při tavném svařování, protože rozsah teplot od roztaveného svařového kovu po studený základní materiál, zahrnuje i teploty zcitlivění. Při svařování dochází k rychlému ohřevu a chlazení materiálu, proto u teplot zhruba do 650 °C nehrozí zcitlivění (nedostatečně dlouhá expozice). Imunní je také oblast přímo sousedící s hranicí natavení z důvodu relativně rychlého ochlazování této oblasti. Ke zcitlivění je tím pádem náchylné pásmo v tepelně ovlivněné oblasti. [17]



Obr. 31 Teplotní cyklus svařování oceli
AISI 304 se zvýrazněným rozsahem
teplot zcitlivění [8]

Značný vliv na zcitlivění a následnou mezikrystalovou korozi má obsah uhlíku a stabilizačních prvků v oceli. Menší obsah uhlíku omezuje tvorbu karbidů chromu a tím klesá náchylnost ke zcitlivění. U konvenčních austenitických může být obsah uhlíku snížen až na 0,02 % hm. Vliv uhlíku na zcitlivění při svařování se začíná projevovat nad 0,03 % hm v oceli. [17]



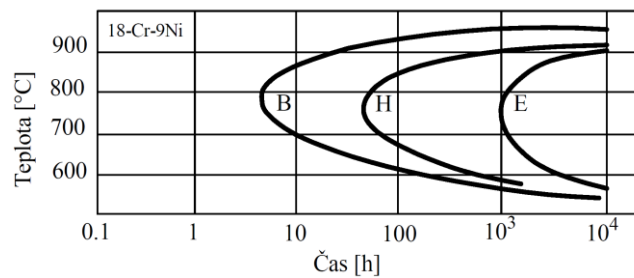
Obr. 32 Závislost obsahu uhlíku na teplotě a čase oceli Cr18-9Ni. [17]

Účinné je i použití stabilizovaných ocelí. Stabilizační prvky Ti a Nb tvoří v základním materiálu stabilní karbidy, které zabraňují vzniku karbidům chromu. Stabilizace řeší problém mezikrystalové koroze jen v rozmezích teplot zcitlivění. Problém se přesouvá k linii natavení, kde může dojít k roztavení karbidů Ti a Nb. Při následném chlazení se jako první vytvoří karbid Cr a vzniká takzvaná nožová koroze (lokalizované napadení mezikrystalovou korozí). Snižování obsahu uhlíku je proto méně rizikové řešení. [5;17] Jako opatření vůči mezikrystalové korozi lze uvést například:

- používání materiálů s obsahem uhlíku do 0,03 hm%, nebo stabilizovaných typů
- vyhnout se svařování v místech tvářených za studena (tváření za studena zvyšuje rychlost precipitace karbidů chromu)
- nízký tepelný příkon (teplo vnesené do svaru), nízká teplota interpass, minimalizace času v oblasti zcitlivění. [17]

11.3 Zkřehnutí vlivem sigma fáze

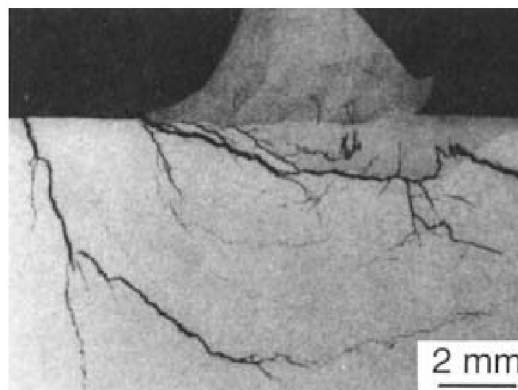
Jedná se o tvrdou intermetalickou sloučeninu, která krystalizuje v tetragonální mřížce. Její vznik má za následek snížení tažnosti a houževnatosti. Sigma fáze vzniká ve slitinách s obsahem chromu 20 – 70 % při teplotách 500 – 800 °C a relativně dlouhých časech. Feritotvorné legující prvky (Mo, Si, Ni, Ti) mohou její vznik posunout směrem k nižším obsahům chromu a kratším časům. Svařování obvykle neposkytuje dostatek času pro vytvoření sigma fáze, ale například tepelné zpracování po svařování může vznik sigma fáze zapříčinit. Běžné austenitické oceli je proto nutné nevystavovat dlouhodobému působení teplot v rozsahu 500 – 900 °C. [1;17]



Obr. 33 Vznik sigma fáze u oceli 19Cr9Ni. (B-začátek precipitace, H-polovina, E-konec)
[17]

11.4 Koroze za napětí

Vzhledem k vysoké tepelné roztažnosti a nízké tepelné vodivosti vznikají v austenitických ocelích po svařování silná zbytková napětí. V závislosti na zbytkových napětích a působení korozního prostředí může vzniknout koroze za napětí a následné praskání. Praskání se většinou šíří přes krystaly a většinou se jedná o rozvětvené trhliny. Řešením pro různá prostředí, ve kterých hrozí koroze za napětí, je například použití nízkouhlíkových nebo stabilizovaných typů, které se následně ošetří vhodným tepelným zpracováním. Další možnost je použití duplexních, superaustenitických nebo některých typů feritických ocelí, které na tento druh koroze nejsou náchylné. [8]



Obr. 34 Koroze za napětí oceli 316L [8]

12 NÁBĚHOVÉ BARVY

Nárůstem tloušťky přirozené oxidické vrstvy na povrchu korozivzdorné oceli se tvoří náběhové barvy. Vzhled barev je podobný jako u jiných ocelí při rozžhavení. Náběhové barvy se vyskytují v odstínech od slámově žluté, po tmavě modrou a vznikají nejčastěji v tepelně ovlivněné zóně svarů. Tvorbu náběhových barev ovlivňují také parametry svařování. Při jejich vzniku se chrom dostává na povrchovou plochu a oxiduje. Oxidace chromu na povrchové vrstvě probíhá rychleji než oxidace železa a vzniká povrchová vrstva, která je ochuzená o chrom. V oblastech náběhových barev proto dochází ke snížení korozní odolnosti. [21]

12.1 Moření

Pro odstranění náběhových barev se nejčastěji používá moření. Mořením se odstraňuje tenká povrchová vrstva materiálu, dochází také k odstranění částic železa a jiných kovových nečistot usazených na povrchu. Nejčastějšími prostředky pro moření korozivzdorných ocelí bývá směs kyseliny fluorovodíkové s kyselinou dusičnou. Moření lze provádět více způsoby, například mořením v lázni, postřikem, nanášením past a gelů nebo elektrochemicky. Moření v lázni lze provádět většinou jen v podniku, který má veškeré potřebné vybavení. Naopak moření nanášením past a gelů (například štětcem) lze provádět i v montážních podmínkách. [21]

12.2 Pasivace

Pasivace lze u korozivzdorné oceli definovat jako stav netečného povrchu. Tento stav vzniká samovolně na vzduchu, jedná se ale o zdlouhavý proces. Samovolná pasivace také probíhá pomaleji na místech výrobku, kde je zamezeno přístupu kyslíku. Doba potřebná k vytvoření rovnoměrného pasivovaného povrchu lze urychlit pomocí silného oxidačního prostředku. Nejběžnější způsob pasivace je použitím přípravku s obsahem kyseliny dusičné a provádí se až po moření. [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

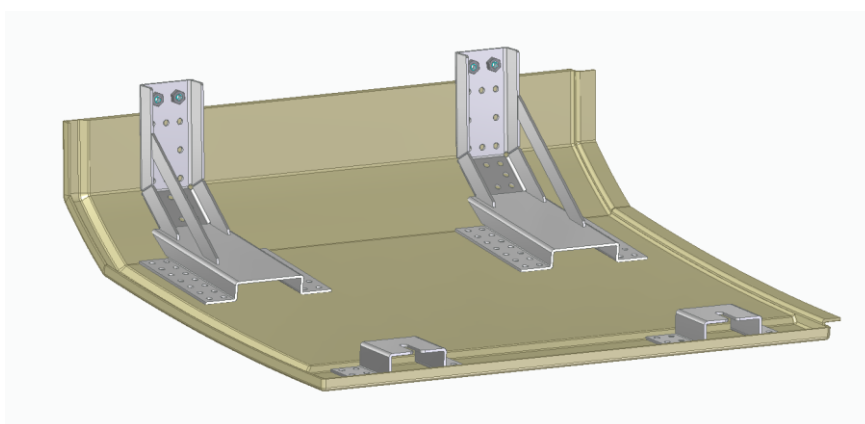
13 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je vytvoření technologického postupu svařenců z korozivzdorné oceli, které budou mít svary požadované jakosti s ohledem na zachování jejich antikorozních vlastností. Je proto třeba provést následující kroky:

- Ověření náchylnosti svařovaného materiálu na možný vznik trhlin při svařování.
- Volba a ověření přídatných materiálů s ohledem na možný vznik trhlin ve svarech.
- Na základě technického výkresu provést přezkoumání typů svarových spojů, zvolit vhodné parametry svařování a následně je otestovat na zkušebních vzorcích. Ověřit zvolené parametry se zaměřením na maximální vnesené teplo, provést potřebné zkoušky a zhodnotit zředění svarového kovu se základním materiálem. Výstupem tohoto kroku jsou svařovací návodky s ověřenými parametry pro následnou výrobu.
- Vytvoření technologických postupů, které jsou zaměřeny na možná rizika ztráty požadovaných vlastností materiálu při výrobě.

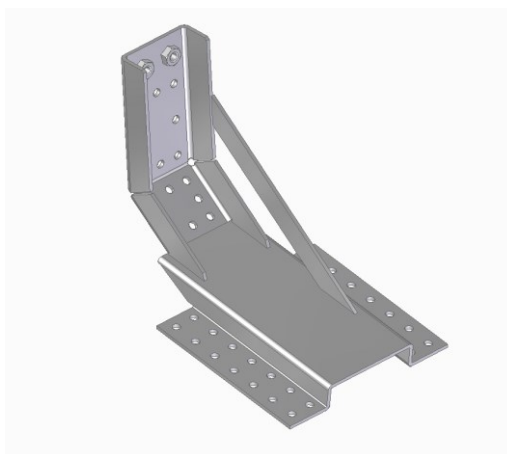
14 VÝROBEK Z KOROZIVZDORNÉ OCELI

Popisovaný výrobek v praktické části je součástí kompozitního dílu kolejového vozidla. Kovové součásti jsou po zhotovení spojeny se skořepinou vyrobenou ze sklolaminátu lepením. Slouží především k montáži na rám vozidla a částečně ke zvýšení tuhosti skořepiny. Na skořepině se nachází několik kovových dílů – dvě výztuhy, které jsou vzájemně zrcadlově obráceny, dále pak dvě patky, které nejsou zhotoveny s použitím svařování, a proto nebudou dále v praktické části popisovány.



Obr. 35 Model sestavy kompozitního dílu se zálisky [22]

Výroba kovových dílů probíhala původně ve firmě A z polotovarů zhotovených z běžné oceli jakosti S235J2C+N, které byli následně galvanicky pokoveny. Poté došlo k provedení změny zákazníkem na korozivzdornou ocel 1.4301 bez dalších požadavků na metodu svařování a přídavný materiál, načež byly vypracovány nové výrobní postupy. V závislosti na vybavení firmy A, byla první sada zálisků svařena dvěma rozdílnými metodami a odeslána ke zhodnocení. Proto bylo pro výrobu potřeba vytvořit dva technologické postupy. Technický výkres sestavy a konstrukční kusovník jsou umístěny v přílohách *PI* a *PII*.



Obr. 36 Model sestavy svařované výztuhy [22]

15 ZÁKLADNÍ MATERIÁL

Materiál všech svařovaných součástí je určen výkresovou dokumentací od zákazníka. Jedná se o austenitickou ocel jakosti dle EN 1.4301. Při nákupu materiálu bylo potřeba zajistit od dodavatele inspekční certifikát 3.1, ve kterém výrobce materiálu uvádí chemické složení a výsledky zkoušek pro jednotlivé tavby. Z chemického složení uvedeného v inspekčním certifikátu byl proveden odhad struktury a byla vypočítána náchylnost materiálu ke vzniku teplých trhlin.

Tab. 8 Chemické složení základního materiálu [22]

Prvek	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	N
Obsah hm %	0,027	0,37	1,72	0,02	0,040	8,06	18,25	0,095

15.1 Odhad struktury

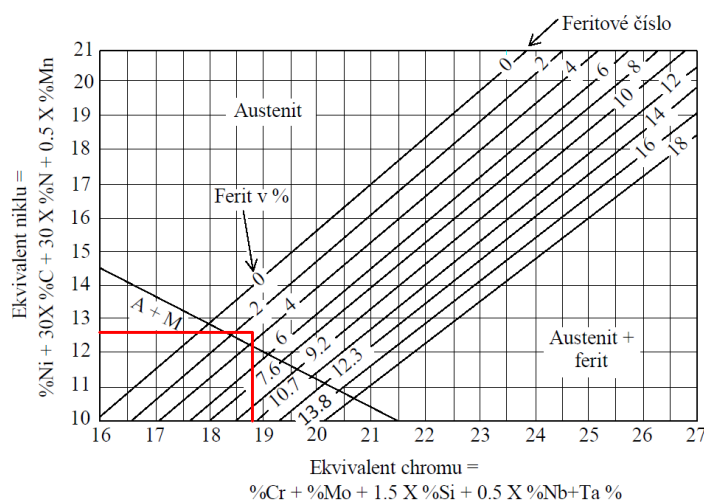
Obsah feritu byl zjištěn výpočtem ekvivalentů chromu a niklu na základě hodnot v inspekčním certifikátu a následně určen graficky z De-Longova diagramu.

$$E_{Cr} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5 \cdot \%Nb + \%Ta \quad (3)$$

$$= 18,25 + 0 + 1,5 \cdot 0,37 + 0,5 \cdot 0 + 0 = 18,805$$

$$E_{Ni} = \%Ni + 30 \cdot \%C + 30 \cdot \%N + 0,5 \cdot \%Mn \quad (4)$$

$$= 8,06 + 30 \cdot 0,027 + 30 \cdot 0,095 + 0,5 \cdot 1,72 = 12,58$$



Obr. 37 De-Longův diagram, struktura základního materiálu [22]

15.2 Náchylnost základního materiálu na vznik teplých trhlin

$$\begin{aligned}\Delta H &= -700 \cdot hm.\%C + 17 \cdot hm.\%Cr - 37 \cdot hm.\%Ni + 29 \\ &\quad \cdot hm\%Mo + 188 \tag{5} \\ &= -700 \cdot 0,027 + 17 \cdot 18,25 - 37 \cdot 8,06 + 29 \cdot 0 + 188 \\ &= 181,13\end{aligned}$$

$$\Delta H > 100$$

Na základě rovnice pro výpočet náchylnosti k teplým trhlinám uvedené v literatuře [24] bylo zjištěno, že $\Delta H > 100$. Nepředpokládá se proto vznik teplých trhlin v základním materiálu nebo v tepelně ovlivněné oblasti.

16 PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY A OCHRANNÉ PLYNY

Pro metodu MAG byl zvolen přídatný materiál jakosti 316Lsi v závislosti na doporučení dodavatele. Vzhledem k rozdílnému chemickému složení základního a přídatného materiálu proběhl odhad výsledné struktury svarového kovu.

Na základě chemického složení uvedeného v inspekčním certifikátu přídatného materiálu se vypočítal E_{Cr} a E_{Ni} . Z důvodu chybějící analýzy obsahu dusíku v přídatném materiálu, bylo pro výpočet ekvivalentu niklu dosazeno pro metodu MAG 0,08 hm % N. Na základě postupu uvedeného v odborné literatuře [17].

Tab. 9 Chemické složení přídatného materiálu 316Lsi [22]

Prvek	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo
Obsah hm %	0,014	0,908	1,693	0,011	0,016	0,058	12,255	18,450	2,681

$$E_{Cr} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5 \cdot \%Nb + \%Ta$$

$$= 18,450 + 2,681 + 1,5 \cdot 0,908 + 0,5 \cdot 0 + 0 = 22,493 \quad (6)$$

$$E_{Ni} = \%Ni + 30 \cdot \%C + 30 \cdot \%N + 0,5 \cdot \%Mn$$

$$= 12,255 + 30 \cdot 0,014 + 30 \cdot 0,08 + 0,5 \cdot 1,693 = 15,92 \quad (7)$$

Pro metodu TIG byl materiál jako u předchozího rovněž zvolen na základě doporučení dodavatele 308L-Si. Pro metodu TIG bylo pro výpočet dosazeno 0,06 hm% N, na základě postupu uvedeného v odborné literatuře [17].

Tab. 10 Chemické složení přídatného materiálu 308L-Si [22]

Prvek	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Mo
Obsah hm %	0,015	0,780	1,880	0,011	0,020	0,100	10,060	19,650	0,120

$$E_{Cr} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5 \cdot \%Nb + \%Ta$$

$$= 19,650 + 0,120 + 1,5 \cdot 0,780 + 0,5 \cdot 0 + 0 = 20,94 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} E_{Ni} &= \%Ni + 30 \cdot \%C + 30 \cdot \%N + 0,5 \cdot \%Mn \\ &= 10,060 + 30 \cdot 0,015 + 30 \cdot 0,06 + 0,5 \cdot 1,880 = 13,25 \end{aligned} \quad (9)$$

Na výslednou strukturu svarového kovu má vliv také zředění přídavného materiálu se základním materiálem vznikající v důsledku natavení svarových ploch. Výslednou strukturu svarového kovu je proto možné odhadnout po měření a výpočtu zředění v kapitole 18.3.

16.1 Ochranné plyny

Jako ochranný plyn pro metodu MAG byl zvolen směsný plyn Ar 97 % + 3 % O₂. Plyn je známý pod obchodním názvem Cronigon společnosti Linde.

Obsah kyslíku dokáže značně snížit povrchové napětí roztaveného kovu, které je u vysocelegovaných ocelí velké. Povrch svaru proto nemá nežádoucí nadměrné převýšení [11].

Pro metodu TIG byl zvolen argon 4.6. Tento plyn má čistotu 99.996 %, která je vhodná pro svařování korozivzdorných ocelí. [11]

17 PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ

Výrobní norma uvedená na výkrese sestavy výrobku a daná certifikační úroveň nevyžaduje postupy svařování WPS kvalifikovány na základě WPQR (protokolu o kvalifikaci postupu svařování). Pro postup svařování a opakovatelnost výroby byly vytvořeny svařovací návodky, které byly následně ověřeny zkouškami.

17.1 Návodky svařování

Při přezkoumání výrobního výkresu bylo zjištěno, že se na výrobku nachází čtyři druhy svarů, které se liší sestavením svařovaných dílů u obloukové metody, nebo samotnou metodou svařování (odporové svařování). Pro jednotlivé druhy svarů je třeba vypracovat samostatné návodky. U obloukových metod se jedná o dva alternativní postupy.

Tab. 11 Seznam svarů pro tvorbu návodek. [22]

Metoda 135 (MAG)	Metoda 141 (TIG)	Metoda 21 (odporový svar)
Koutový svar (a2)	Koutový svar (a2)	Svar bodový matice M8
Tupý svar	Tupý svar	
Svar se závarem (s 1,5)	Svar se závarem (s 1,5)	

Parametry pro dané typy svarů byly nastaveny na zkušebních vzorcích, které byly následně vizuálně a metalograficky hodnoceny. Pro odběr vzorků byly použity zkušební kusy připravené z materiálu o jakosti požadované výkresovou dokumentací. Délky všech zkušebních kusů byly 200 mm.

17.2 Metoda MAG

Ke svařování metodou MAG byl použitý svařovací zdroj Fronius TransPuls Synergic 2700. Jedná se o zcela digitalizovaný, mikroprocesorem řízený invertorový zdroj s integrovaným podavačem. Podávání přídatného materiálu zajišťuje systém se čtyřmi kladkami. Rozsah svařovacího proudu zdroje je 3 – 270 A, zatěžovatel 100 % má hodnotu 170 A při 40 °C. Svařování probíhalo s impulzním přenosem, který tento zdroj umožňuje. Jako přídatný materiál byl použitý drát o průměru 0,8 mm navinutý na cívce o hmotnosti 15 kg.



Obr. 38 Svařovací zdroj Fronius
TPS 2700 [22]

Proud a napětí byly odečítány z ukazatelů zařízení v průběhu svařování. Průtok ochranného plynu byl změřen plovákovým průtokoměrem na hořáku. Následně bylo potřeba změřit čas svařování a v závislosti na délce vzorku vypočítat rychlost pomocí rovnice 11. Dosazením těchto parametrů bylo vypočítáno vnesené teplo do svaru. V závislosti na drobných změnách délky oblouku při ručním svařování se parametry proudu a napětí pohybovaly v určitém rozmezí. Pro koutový spoj byly naměřeny tyto hodnoty:

Tab. 12 Parametry svařování koutového spoje. [22]

Označení svaru	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Čas svařování (s)
FW a2 135	21,2-21,9	140-154	11	38,31

$$v = \frac{l}{t} = \frac{200}{38,31} = 5,22 \text{ mm/s} \quad (10)$$

Hodnoty rychlostí svařování byly u dalších vzorků dosazeny přímo do tabulek s parametry svařování.

Výpočet tepelného příkonu proběhl použitím vztahů uvedených v normě [23]. Koefficient účinnosti (k) uvádí norma pro metodu MAG 0,8. [23]

V závislosti na rozptylu hodnot v průběhu svařování byla vypočítána minimální a maximální hodnota. Výpočet proběhl stejným způsobem i pro ostatní typy svarů.

$$Q_{Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{140 \cdot 21,2}{5,22} \cdot 10^{-3} = 0,45 \text{ kJ/mm} \quad (11)$$

$$Q_{Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{154 \cdot 21,9}{5,22} \cdot 10^{-3} = 0,52 \text{ kJ/mm} \quad (12)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,45 + 0,52}{2} = 0,485 \doteq 0,49 \text{ kJ/mm} \quad (13)$$

Pro tupý svar byla použita formovací pasta pro ochranu kořene proti oxidaci, svaření tupého svaru proběhlo na měděné podložce opatřené drážkou pro kořen.

Tab. 13 Parametry svařování tupého spoje. [22]

Označení svaru	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Rychlost svařování (mm/s)
BW s3 135	15,1-18,3	71-82	11	4,47

$$Q_{Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{71 \cdot 15,1}{4,47} \cdot 10^{-3} = 0,19 \text{ kJ/mm} \quad (14)$$

$$Q_{Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{82 \cdot 18,3}{4,47} \cdot 10^{-3} = 0,27 \text{ kJ/mm} \quad (15)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,19 + 0,27}{2} = 0,23 \text{ kJ/mm} \quad (16)$$

Tab. 14 Parametry svařování spoje s částečným závarem [22]

Označení svaru	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Rychlost svařování (mm/s)
BW s1,5 135	15,6-18,3	75-86	11	6,1

$$Q_{Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{75 \cdot 15,6}{6,1} \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ kJ/mm} \quad (17)$$

$$Q_{Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{86 \cdot 18,3}{6,1} \cdot 10^{-3} = 0,21 \text{ kJ/mm} \quad (18)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,15 + 0,21}{2} = 0,36 \text{ kJ/mm} \quad (19)$$

17.3 Metoda TIG

Pro svařování metodou TIG bylo použitý svařovací zdroj Fronius Magic Wave 2200. Jedná se také o invertorový zcela digitalizovaný invertorový zdroj řízený mikroprocesorem, vybavený vodním chlazením hořáku a bezkontaktním zapalováním. Rozsah svařovacího proudu zdroje je 3 – 220 A, zatěžitel 100 % má hodnotu 150 A při 40 °C.

U metody TIG byly parametry proudu a napětí taktéž odečítány z kontrolních měřidel zařízení, průtok plynu byl měřen stejným způsobem. Zde také docházelo v důsledku ručního vedení hořáku k rozptylu hodnot. Na rozdíl od metody MAG zde bylo obtížné zároveň dosáhnout vyhovujících rozměrů svaru na straně povrchu a kořene u tupého svaru. Proto bylo svařování tupého svaru rozděleno na dvě vrstvy (kořenovou a krycí). Pro ochranu kořene byla stejně jako u metody MAG použita formovací pasta.



*Obr. 39 Svařovací zdroj
Fronius Magic Wave 2200
[22]*

Tab. 15 Parametry svařování koutového svaru [22]

Označení svaru	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Rychlost svařování (mm/s)
FW a2 141	12,6-14	135	9	1,25

Výpočet tepelného příkonu pro všechny typy spojů proběhl stejným způsobem jako u předchozí metody. Na rozdíl od metody MAG ale uvádí norma koeficient účinnosti (k) pro metodu TIG 0,6. [23]

$$Q_{Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{12,6 \cdot 135}{1,25} \cdot 10^{-3} = 0,82 \text{ kJ/mm} \quad (20)$$

$$Q_{Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{14 \cdot 135}{1,25} \cdot 10^{-3} = 0,91 \text{ kJ/mm} \quad (21)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,82 + 0,91}{2} = 0,865 \doteq 0,87 \text{ kJ/mm} \quad (22)$$

Tab. 16 Parametry pro svařování tupého svaru [22]

Označení svaru	Vrstva	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Rychlost svařování (mm/s)
BW s3 141	1	10,2-11,2	80	9	1,3
	2	10,2-11,1	75	9	1,08

Pro tupý svar provedený metodou TIG bylo zapotřebí vypočítat hodnotu tepelného příkonu pro každou vrstvu zvlášť. Svařování druhé vrstvy proběhlo až po poklesu teploty pod stanovenou teplotu interpass (100 °C).

$$Q_{1Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{10,2 \cdot 80}{1,3} \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ kJ/mm} \quad (23)$$

$$Q_{1Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{11,2 \cdot 80}{1,3} \cdot 10^{-3} = 0,41 \text{ kJ/mm} \quad (24)$$

$$Q_1 = \frac{Q_{1min} + Q_{1max}}{n} = \frac{0,38 + 0,41}{2} = 0,395 \text{ kJ/mm} \quad (25)$$

$$Q_{2Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{10,2 \cdot 75}{1,08} \cdot 10^{-3} = 0,43 \text{ kJ/mm} \quad (26)$$

$$Q_{2Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{11,1 \cdot 75}{1,08} \cdot 10^{-3} = 0,46 \text{ kJ/mm} \quad (27)$$

$$Q_2 = \frac{Q_{2min} + Q_{2max}}{n} = \frac{0,43 + 0,46}{2} = 0,445 \text{ kJ/mm} \quad (28)$$

$$Q_{Celk} = Q_1 + Q_2 = 0,395 + 0,445 = 0,84 \text{ kJ/mm} \quad (29)$$

Tab. 17 Parametry svařování pro svar s částečným závarem. [22]

Označení svaru	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Rychlost svařování (mm/s)
BW s1,5 141	11,5-12,9	110	9	2,58

$$Q_{Min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{11,5 \cdot 110}{2,58} \cdot 10^{-3} = 0,29 \text{ kJ/mm} \quad (30)$$

$$Q_{Max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{12,9 \cdot 110}{2,58} \cdot 10^{-3} = 0,33 \text{ kJ/mm} \quad (31)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,29 + 0,33}{2} = 0,31 \text{ kJ/mm} \quad (32)$$

Hodnoty vneseného tepla nepřekročily u žádného svařovaného vzorku maximální přípustnou hodnotu 1,5 kJ/mm uvedenou v literatuře [24].

Tab. 18 Hodnoty vneseného tepla použitých metod a typů spojů [22]

Metoda, typ spoje	Vnesené teplo v kJ/mm
MAG koutový spoj	0,49
MAG tupý spoj	0,23
MAG částečný závar	0,36
TIG koutový spoj	0,87
TIG tupý spoj	0,84
TIG částečný závar	0,31

17.4 Odporové svařování matic

Svařování proběhlo na zařízení TECNA4666, jež má pneumatické ovládání přítlaku a lineární pohyb ramen. Nastavení hodnot svařovacího času a proudu zajišťuje řídicí jednotka. Maximální svařovací proud zdroje je 12,7 kA. Svařování proběhlo následujícími parametry:

Tab. 19 Parametry svařování pro matici M8 [22]

Označení svaru	Svařovací čas (s)	I (A)	Svařovací tlak (daN)
M8+t3	0,08	8255	470

Tab. 20 Parametry nastavované na zdroji TECNA 4666 [22]

Označení svaru	Svařovací čas (periody)	I (%)	Svařovací tlak (bar)
M8+t3	4	65	6

Hodnoty závislosti tlaku a síly byly přepočteny podle tabulky výrobce. Po svařování byla provedena technologická zkouška momentovým klíčem. Minimální kroutící moment, při kterém nesmí dojít k poruše svaru, je pro matici DIN 929 M8 a základní materiál o tloušťce 3 mm stanoven podnikovou směrnicí na 60Nm. Kontrola svarů momentovým klíčem se provádí na základě podnikové směrnice vždy před zahájením výroby na zkušebním vzorku. Pravidelné testování je důležité z hlediska zajištění opakovatelnosti výroby, ověření parametrů a kontroly neporušenosti zařízení.

Pro ověření zvolených parametrů bylo svařeno 10 matic. Vzorky byly upnuty do svěráku a otestovány momentovým klíčem s nastavenou hodnotou 60Nm. Žádná z matic nejevila známky porušení. Následně byly vybrány 3 vzorky, které byly postupně zatěžovány většími hodnotami momentů. Porušení matic nastalo v rozmezí hodnot 83 – 91Nm.

Hodnocení vzhledu lomových ploch proběhlo na základě stejného principu zkoušky jako v článku [25]. Lomová plocha je považována za vyhovující, když není rovná, ale dochází u všech výstupků k vytržení základního materiálu.

Na základě zvolených a ověřených parametrů byla vystavena návodka svařování.

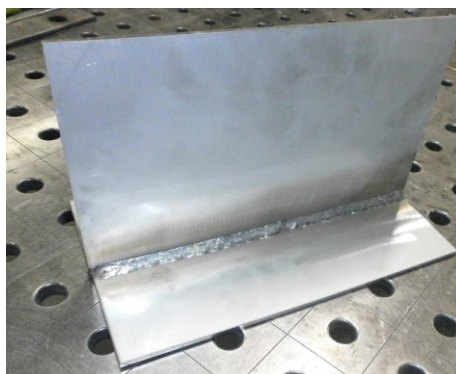


Obr. 40 Utržená matice M8 a základní materiál [22]

18 KONTROLA A ZKOUŠENÍ

18.1 Vizuální kontrola

Na svařených kusech byla provedena vizuální kontrola pro ověření vad, které souvisí s povrchem. Kontrola proběhla při osvětlení 500 lx. Byly použity měřidla pro kontrolu tvaru a rozměru svaru. Nebyla zjištěna přítomnost nepřijatelných vad odpovídajících stupni kvality svařovaného dílu.



Obr. 41 Vzorek svařený metodou MAG [22]

18.2 Kontrola makrostruktury

Kontrola makrostruktury předcházela příprava vzorku. Odběr vzorku proběhl řezáním pomocí pásové pily na menší díl vhodných rozměrů pro přípravu vzorku. Po řezání a odjehlení následovalo broušení vzorku brusnými papíry. První broušení proběhlo brusným papírem o zrnitosti P200, poté následovaly hodnoty P400 a P800. Na konečné doleštění byla použita zrnitost P1000.



Obr. 42 Broušení vzorku pro pozorování makrostruktury [22]

Připravený povrch vzorku byl následně naleptán. Použité leptadlo bylo složeno ze 60 ml HCl a 20 ml HNO₃. Každý vzorek byl leptán po dobu 1,5min. Po leptání následovalo důkladné opláchnutí teplou vodou.



Obr. 43 Leptání vzorku
[22]

Následovalo pozorování struktury digitálním mikroskopem Dino-Lite, který disponuje maximálním zvětšením 200x. Mikroskop je připojen k PC, snímky byly vytvořeny se zvětšením 25x. Na snímcích byly přímo v ovládacím programu mikroskopu přidány kóty a čáry symbolizující původní hrany před roztavením pro posouzení hloubky závaru a kontrolu výskytu studených spojů a trhlin.



Obr. 44 Pozorování makrostruktury
[22]



Obr. 45 Vzorčky zhotovené metodou MAG [22]

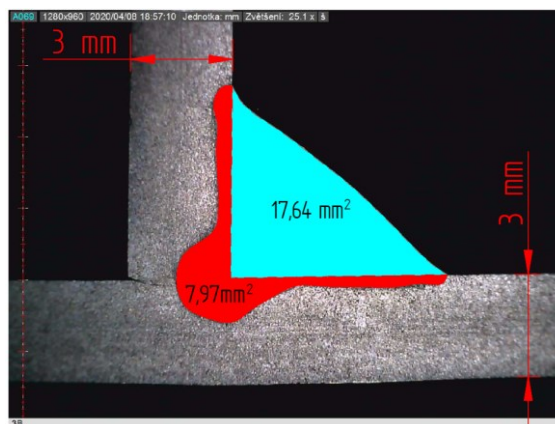


Obr. 46 Vzorčky zhotovené metodou TIG [22]

Kontrolou makrostruktury nebyly prokázány žádné nepřijatelné vady typu dutin, trhlin a studených spojů. Závar na vzorcích byl vyhodnocen jako vyhovující.

18.3 Zředění svarového kovu se základním materiálem

Na základě vytvořených čar, které na vzorcích symbolizují původní neroztavené hrany, bylo možné provést měření obsahu ploch softwarem Solid Edge. Z těchto hodnot lze výpočtem zjistit zředění svarového kovu se základním materiálem. Z důvodu možných nepřesností při odhadu původních hran, se jedná o přibližný výpočet.



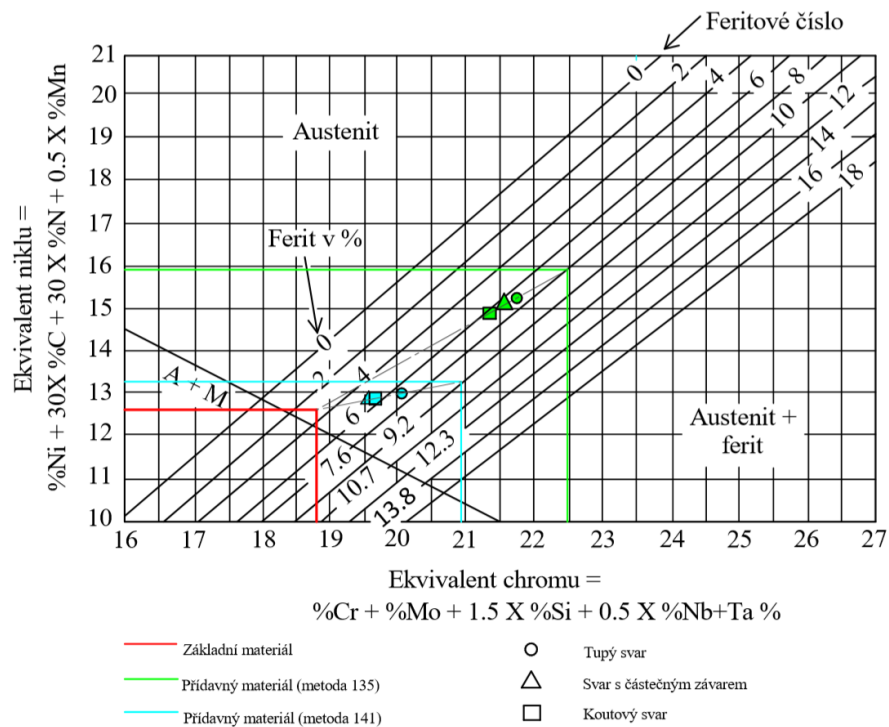
Obr. 47 Měření obsahu ploch závaru a návaru [22]

Naměřené obsahy ploch závaru S_z a návaru S_n byly dosazeny do rovnice 25 pro výpočet zředění uvedené v literatuře [15]. Výsledné hodnoty pro jednotlivé metody a typy spojů jsou uvedeny v Tab. 22.

$$Z = \frac{S_z}{S_n + S_z} \cdot 100 = \frac{7,97}{17,64 + 7,97} \cdot 100 = 31,12 \approx 31\% \quad (33)$$

Tab. 21 Hodnoty zředění základního materiálu se svarovým kovem [22]

Metoda, typ spoje	Zředění v %
MAG koutový spoj	31
MAG tupý spoj	20
MAG částečný průvar	25
TIG koutový spoj	59
TIG tupý spoj	41
TIG částečný průvar	64



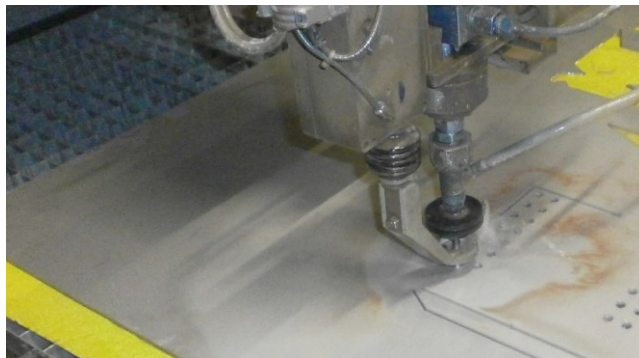
Obr. 48 Znárodnění odhadu struktury svarových kovů v De-Longově diagramu [22]

Výsledné struktury svarových kovů u zkoumaných typů spojů leží v oblasti mezi 3-15 FN uvedenými v normě [20]. Přídavné materiály jsou z hlediska zamezení vzniku teplých trhlin vyhovující. Na základě zvolených přídavných materiálů, použitých ochranných plynů a ověřených parametrů svařování, byly vypracovány svařovací návodky v přílohách.

19 VÝROBA

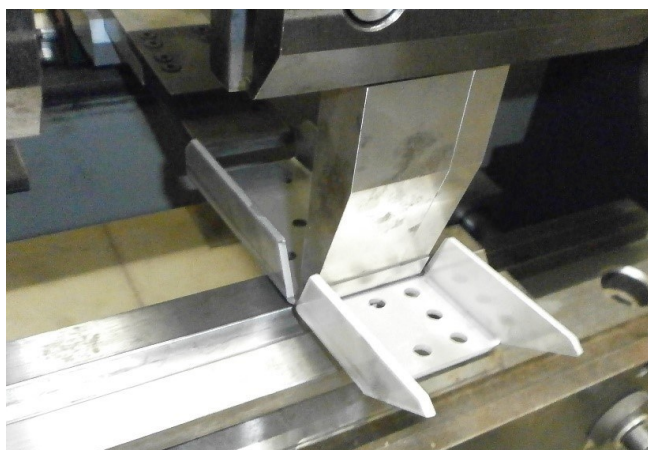
19.1 Příprava polotovarů

Potřebné polotovary bylo potřeba zhotovit dělením z plechu austenitické oceli EN 1.4301 o rozměrech 1000x2000x3 mm. Pro dělení byly poskytnuty zákazníkem rozvinuté tvary polotovarů v elektronické podobě. Dělení probíhalo vodním paprskem. Z důvodu možné kontaminace austenitické oceli a následného vzniku bodové koroze při styku s pracovním roštem stroje, který je vyroben z uhlíkové oceli a vystavený koroznímu prostředí, bylo zapotřebí plech podložit polypropylenovou podložkou (cartonplast). Bezprostředně po vyřezání byly polotovary vysušeny stlačeným vzduchem.



Obr. 49 Dělení polotovarů vodním paprskem [22]

Ohýbání proběhlo na hydraulickém ohraňovacím lisu. Před ohybem polotovarů proběhlo sražení hran a vytvoření úkosů pro tupé svary metody TIG. Úhel rozevření úkosu byl 60 °.



Obr. 50 Ohyb polotovarů na ohraňovacím lisu [22]

19.2 Svařování

Svařování bylo rozděleno na několik dílčích operací. Jako první proběhlo svaření dílu vzpěry. Jedná se o tupý spoj s plným průvarem. U tohoto typu spoje ochranný plyn přiváděný svařovacím hořákem většinou nezajistí dostatečnou ochranu kořene svaru, je proto nutné použít sekundární ochranu kořene.

Při svařování bez sekundární ochrany u austenitických ocelí dochází k silné oxidaci, nebo mohou vzniknout póry. Sekundární ochrana také pomáhá k lepšímu průvaru a tvaru kořene svaru, proto se tento proces označuje jako formování kořene. [15]

Existuje několik způsobů, jak zajistit ochranu kořene. Nejběžnější způsob je použití ochranného plynu, například při svařování potrubí se přes ucpávku přivádí ochranný plyn, který vytlačí vzduch z kořenové oblasti. Tento způsob ochrany vyžaduje u svarů na plechu přípravek, který zajistí rovnoměrné proudění plynu v celé délce svaru. Vzhledem ke krátké svařované délce a konstrukčnímu řešení polotovaru, byla zvolena formovací pasta.



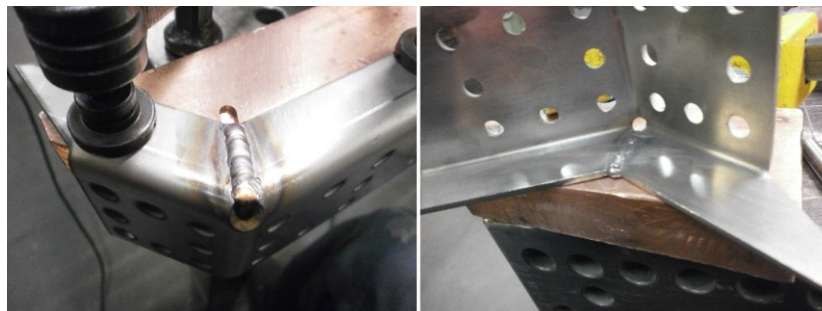
Obr. 51 Kořenová strana svaru bez použití sekundární ochrany [22]

Použitá formovací pasta byla dodána ve formě prášku, příprava probíhá smícháním daného poměru prášku a methylalkoholu, mícháním se připraví pasta vhodná k nanášení.



Obr. 52 Nanesená formovací pasta na kořenové straně svařovaného dílu [22]

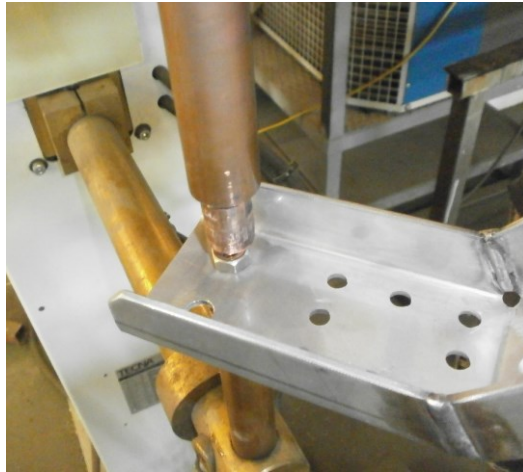
Před svařováním je důležité zbavit jemným broušením a kartáčováním svarové plochy a jejich okolí od povrchové oxidické vrstvy. Oxidy chromu a niklu mají vyšší teplotu tavení než svarový kov a mohlo by dojít k jejich zatavení do svaru. Před sestehováním byla nanesena formovací pasta v okolí místa svařování a na část svarových ploch. Svařování proběhlo na měděné podložce opatřené drážkou pro převýšení kořene, která slouží zároveň k odvedení tepla. U metody MAG navíc příložka brání ulpívání kapek roztaveného kovu, které vznikají při svařování tupého spoje na vnitřní straně. Pro metodu TIG (vícevrstvý svar) bylo potřeba dodržet mezihousenkovou teplotu (interpass) předepsanou v návodce, pro její dodržení proběhlo měření kontaktním teploměrem. Po svaření první vrstvy metodou TIG bylo třeba očistit kartáčováním povrch svaru, aby nedošlo k zatavení oxidů a nečistot do svaru. Po svaření bylo zapotřebí u obou metod očistit kořen svaru od zbytků formovací pasty.



Obr. 53 Povrch a kořen svaru zhotoveného metodou TIG [22]

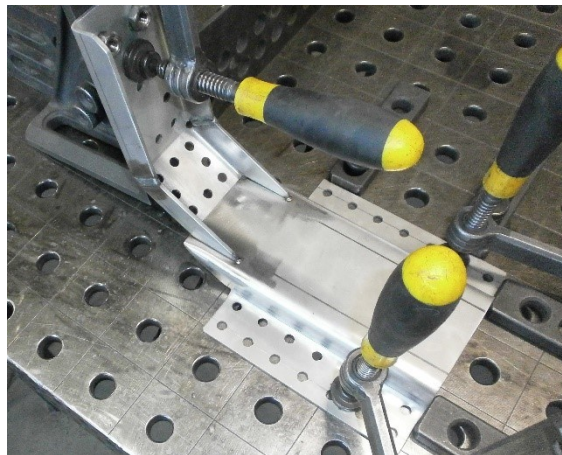
Druhou operací svařování je bodové svařování matic z důvodu obtížnější manipulace s hotovým svařencem. Před svařováním bylo třeba převrtat otvory pro ustavení bodovacích matic M8 na požadovaný rozměr z důvodu nepřesností vznikajících při řezání vodním paprskem. Otvor nesmí být příliš těsný, aby se výstupky, které vytváří svar, mohly za působení tlaku volně deformovat a aby nevznikl svar v oblasti středícího nákrůžku. Předepsaný průměr děr pro matici DIN 929 M8 A2 je 10,5 mm.

Svařování proběhlo na základě parametrů stanovených návodkou. Před každým nastavením odporové svářečky je třeba provést na zkušebním vzorku zkoušku momentovým klíčem. Povrch bylo třeba před svařováním očistit kartáčem a odmastit vhodným přípravkem.



Obr. 54 Odporové přivařování matic [22]

Další operací bylo sestavení dílu vzpěry a podstavy. Pro zajištění funkčních rozměrů byl použit univerzální upínací systém. Sestehování proběhlo pro oba svařence metodou TIG z důvodu malých rozměrů stehových svarů a omezení rozstříku. Po sestehování následovalo svaření vnitřních svarů kvůli lepší přístupnosti pro čištění zoxidovaného povrchu, který vzniká na opačné straně koutového svaru.



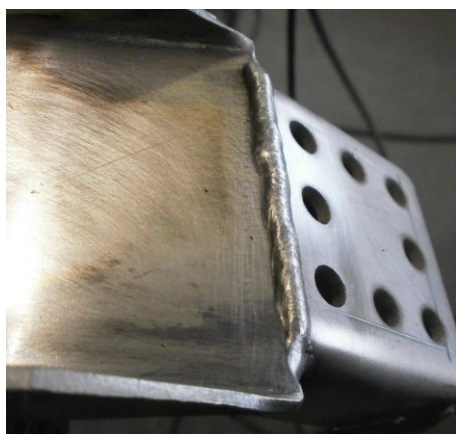
Obr. 55 Sestehovaný díl připravený ke svařování [22]

Následně bylo nutné před svařováním vnějších svarů zkontrolovat teplotu, aby byly dodrženy předpokládané hodnoty vneseného tepla. Předepsaná teplota pro začátek svařování byla proto stanovena na maximálně 100 °C.



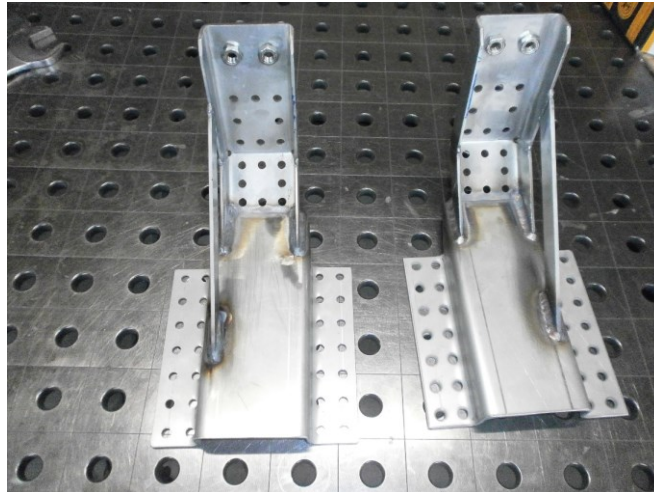
Obr. 56 Měření teploty kontaktním teploměrem. [22]

Po vychladnutí a kontrole rozměrů proběhlo svařování svaru s částečným průvarem. U spoje provedeného metodou MAG vzniklo podstatně větší převýšení než u metody TIG. Z důvodu lepení na laminátový díl proto bude třeba počítat s jeho mírným broušením.



Obr. 57 Svar zhotovený metodou MAG [22]

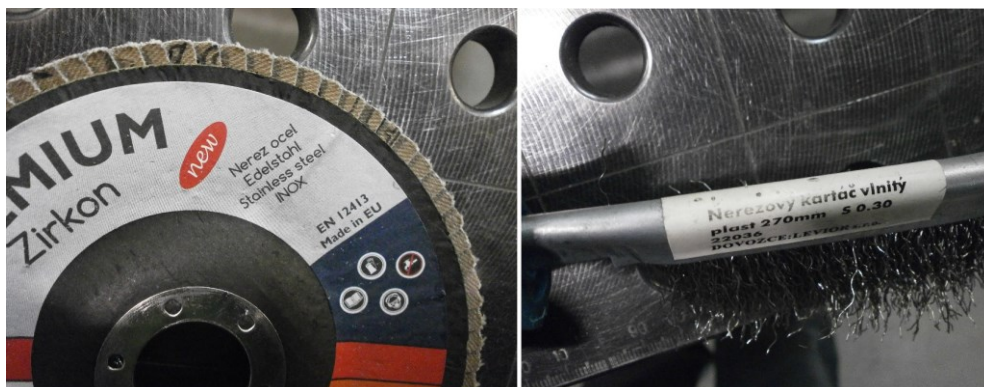
Jako poslední operace proběhlo svařování vzpěry s dodržением všech výše popsanych zásad. Důraz bylo třeba brát především na řádné sestehování a následnou kontrolu rozměrů předepsaných výkresovou dokumentací. U metody MAG byl očištěn rozstřík sekáčem. Oba svařence byly řádně očištěny kartáčem od hrubých nečistot a zbytků formovací pasty. Poté následovala vizuální zkouška svarů.



Obr. 58 Svařované díly před čištěním, metoda MAG (vlevo), metoda TIG (vpravo) [22]

19.3 Čištění svarů

Po svařování následovalo čištění a příprava pro povrchovou úpravu. U dílu svařovaného metodou MAG bylo znečištění a doba potřebná k jeho odstranění větší, protože bylo nutné odstranit drobný rozstřík. Míra rozstříku byla částečně redukována použitím impulsního přenosu kovu. Zároveň bylo nutné odstranit zbytky skloviny vzniklé na povrchu svaru. U obou svařenců bylo potřeba odstranit zbytky formovací pasty, která v průběhu svařování vytvořila pevně ulpívající sklovinu na kořenové straně svaru. U metody TIG nevznikl žádný rozstřík ani sklovina na povrchu svaru, doba potřebná k čištění a úpravě svarů byla tedy podstatně kratší. Svary byly u obou svařenců mechanicky očištěny kartáčem z korozi-vzdorné oceli. Nářadí používané k přípravě svařových ploch a očištění po svařování musí být přímo určené pro styk s korozi-vzdornými oceli. Při použití nesprávného nářadí může dojít ke kontaminaci nečistotami železa a následné koroze. Svařování i následné čištění proběhlo na pracovišti určeném ke svařování korozi-vzdorných ocelí.



Obr. 59 Použité nářadí pro broušení a čištění svarů [22]

19.4 Moření a pasivace

Pro odstranění náběhových barev vzniklých v důsledku svařování bylo použito moření. Moření proběhlo nanesením přípravku ve formě gelu štětcem na povrch svařenců. Působení mořícího přípravku, obsahujícího kyselinu fluorovodíkovou a kyselinu dusičnou, probíhalo 60 minut v souladu s návodem výrobce.



Obr. 60 Svařované díly s naneseným mořícím přípravkem [22]

Poté následovalo opláchnutí teplou tlakovou vodou. Pro zrychlení obnovy pasivační vrstvy a sjednocení korozní odolnosti povrchu byl nanesen pasivační přípravek. Doba působení pasivačního přípravku byla 30 minut a následoval oplach teplou vodou o tlaku 130 bar.

Vzhledem k chemickému složení prostředků pro moření a pasivaci proběhly tyto operace na pracovišti k tomu určeném, které je vybaveno na práci s chemikáliemi z hlediska bezpečnosti práce i z hlediska likvidace vzniklého odpadu.



Obr. 61 Svařované díly po moření a pasivaci [22]

ZÁVĚR

Ověřením materiálu zvoleného zákazníkem na základě použité rovnice (5) bylo zjištěno, že u daného materiálu při svařování je málo pravděpodobný vznik nepřipustných vad typu trhlin v základním materiálu.

Hodnoty obsahů feritu, které jsou důležité k potlačení tvorby trhlin ve svarovém kovu, se nacházely v závislosti na metodě svařování a typu spoje v rozmezí 4-8 FN. Norma pro svařování korozivzdorných ocelí [20] uvádí doporučenou hodnotu 3-15 FN. Lze proto předpokládat, že přídatné materiály uvedené ve svařovacích návodkách, jsou vyhovující.

Nejvyšší hodnoty vneseného tepla (0,87 kJ/mm) bylo dosaženo u vzorku koutového spoje provedeného metodou TIG. Naopak nejmenší hodnota (0,23 kJ/mm) byla dosažena u tupého spoje provedeného metodou MAG. Maximální přípustná hodnota vneseného tepla pro austenitické oceli uvedená v literatuře [24] je 1,5 kJ/mm. Při dodržení předepsaných postupů lze předpokládat nízké riziko setrvání v oblasti teplot způsobující zcitlivění těchto ocelí a následnou mezikrystalovou korozi.

Vizuální kontrolou ani kontrolou makrostruktury nebyly zjištěny žádné nepřipustné vady pro stupeň jakosti D uvedený výkresovou dokumentací. Při měření zředění svarového kovu se základním materiálem bylo zjištěno, že největších hodnot zředění bylo u všech typů spojů dosaženo metodou TIG. Například koutový spoj provedený metodou TIG dosáhl hodnoty 59 %. U stejného typu spoje provedeného metodou MAG byla naměřena hodnota 31 %. Na základě těchto hodnot se jeví postup svařování metodou TIG jako výhodnější pro zhotovení svaru o malé velikosti a spolehlivého závazu, vlivem velkých hodnot zředění ale také došlo k poklesu feritového čísla.

Technologickou zkouškou přivařovacích matic bylo zjištěno, že při utržení matic momenty v rozsahu 83-91 Nm došlo k vytržení svarového kovu ze základního materiálu, a proto byla zkouška na základě hodnocení uvedeného ve vědecké práci [25] vyhodnocena jako vyhovující.

Výroba svařovaných dílů na základě technologických postupů prokázala, že větší produktivity, která je zřetelná už při porovnání hodnot rychlostí svařování v kapitolách 17.2 a 17.3, bylo dosaženo metodou MAG. Naopak u metody TIG vznikly svary s hladším povrchem s menšími nároky na jeho čištění a úpravu. Mořením a následnou pasivací svařenců došlo k odstranění náběhových barev, které mají nepříznivý vliv na korozní odolnost součásti. Nanesení mořicího přípravku na povrch celé součásti bylo provedeno za

účelem odstranění nečistot, které mohly kontaminovat povrch materiálu v kterémkoli koku výroby a následně narušit pasivní vrstvu.

Hlavním výstupem bakalářské práce jsou technologické postupy (přílohy PIII a PIV), na které navazují svařovací návodky (přílohy PV – PXI), na jejichž základě lze vyrobit svařenec s vyhovující jakostí svaru i optimálními antikorozními vlastnostmi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. Praha: Academia, 1999. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-0671-0.
- [2] PTÁČEK, Luděk, c1999. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM. ISBN 80-7204-130-4.
- [3] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2*. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-127-1.
- [4] ŠTEFEC, Rudolf , 2008. *Korozivzdorné oceli v potravinářském a nápojářském průmyslu* [online]. In: PARTINGTON, Eric a Rudolf ŠTEFEC. Lucembursko: Euro-Inox [cit. 2020-05-18]. ISBN 978-2-87997-191-9. Dostupné z: http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StSt_in_FoodandBeverage_CZ.pdf
- [5] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [6] FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. ISBN 80-85867-95-8.
- [7] *Vlastnosti korozivzdorných ocelí* [online]. Lucembursko: Euro-Inox [cit. 2020-05-18]. ISBN 2-87997-082-2. Dostupné z: http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/StainlessSteelProperties_CZ.pdf
- [8] KOU, Sindo. *Welding metallurgy*. 2nd ed. Hoboken, N. J: Wiley-Interscience, c2003, xiv, 461 s. ISBN 0471434027
- [9] ITALINOX: *Charakteristika korozivzdorných materiálů a základní informace o použití, zpracování, svařování a možné korozi* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.italinox.cz/plechy/charakteristika-materialu/strana-2>
- [10] *Příručka pro navrhování konstrukcí z korozivzdorné oceli: 4. vydání*. Přeložil Michal JANDERA, přeložil Břetislav ŽIDLICKÝ, přeložil Marek ŠORF. V Praze: ČVUT v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-06395-8.

- [11] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 8085771977.
- [12] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 9788086706191.
- [13] PILOUS, Václav, 2010. Svařitelné oceli podle EN, AISI, ASTM pro stavební svařované konstrukce. *KONSTRUKCE* [online]. [cit. 2020-05-18]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/svaritelne-oceli-podle-en-aisi-astm-pro-stavebni-svarovane-konstrukce/>
- [14] KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 8070826975.
- [15] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 8085771810.
- [16] JEFFUS, Larry F. *Welding: principles and applications*. Eighth edition. Boston, MA: Cengage Learning, [2017]. ISBN:978-1-3054-9469-5.
- [17] *ASM handbook*. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 0-87170-382-3.
- [18] CUNAT, Jean-Pierre, 2007. *Svařování korozivzdorných ocelí* [online]. In: Lucembursko: Euro-inox [cit. 2020-05-18]. ISBN 978-2-87997-177-3. Dostupné z: http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/BrochureWeldability_CZ.pdf
- [19] BLONDEAU, Régis. *Metallurgy and mechanics of welding: processes and industrial applications*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2008. ISBN:978-1-84821-038-7.
- [20] ČSN EN 1011-3. *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 3: Obloukové svařování korozivzdorných ocelí*. Česká agentura pro standardizaci na základě ustanovení § 5 odst. 2 zákona č. 22/1997 Sb, 2019, 32s. Třídící znak 05 2210
- [21] CROOKES, Roger. *Moření a pasivace korozivzdorných ocelí* [online]. Lucembursko: Euro Inox, 2007 [cit. 2020-05-11]. ISBN 978-2-87997-139-1.

Dostupné z:

http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/Passivating_Pickling_CZ.pdf

- [22] Vlastní archiv
- [23] ČSN EN 1011-1. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2002, 56s. Třídící znak 05 2210
- [24] BARTÁK, Jiří. *Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce*. Praha: Dashöfer, 2008. ISSN 1803-2834.
- [25] BURCĂ, Mircea a Ioan LUCACIU. RESEARCH ON WELD NUTS FIXED BY RESISTANCE WELDING. *ANNALS OF THE ORADEA UNIVERSITY. Fascicle of Management and Technological Engineering* [online]. 2013, XXII (XII), 2013/3(3) [cit. 2020-05-18]. DOI: 10.15660/AUOFMTE.2013-3.2945. ISSN 15830691. Dostupné z:
<http://imt.uoradea.ro/auo.fimte/doi.php?doi=10.15660/AUOFMTE.2013-3.2945>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

γ	fáze austenit
A_3	křivka vylučování feritu z austenitu
A_4	teplota přeměny železa α na železo δ
α	fáze α (ferit)
σ	sigma fáze
M_s	martenzit start
HRC	tvrdost podle Rockwella
R_m	mez pevnosti v tahu [Mpa]
R_e	mez kluzu [Mpa]
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu [Mpa]
ε	poměrné protažení [%]
AISI	Americký institut pro železo a ocel
MIG	metoda svařování
V	volt
A	ampér
s	hloubka závaru
N	newton
I_{sv}	svařovací proud
F_{sv}	přítlačná síla
t	čas
t_d	dosedací čas
t_s	čas zapnutého proudu
t_k	čas působení kovacího tlaku
daN	dekanewton=10N
σ	fáze sigma

WRC 1992	diagram
E_{Cr}	ekvivalent chromu
E_{Ni}	ekvivalent niklu
WPS	specifikace postupu svařování
WPQR	protokol o zkoušce postupu svařování
ΔH	náchylnost k tvorbě teplých trhlin
l/min	litr/minuta
mm/s	milimetr/sekunda
a2	velikost koutového spoje 2mm
k	koeficient účinnosti metody svařování
Q_{Min}	minimální hodnota vneseného tepla
Q_{Max}	maximální hodnota vneseného tepla
s3	velikost tupého spoje (hloubka závaru)
s1,5	hloubka závaru 1,5mm
kJ/mm	vnesené teplo (tepelný příkon)
kA	kiloampér
A2	označení materiálu
Nm	newtonmetr
lx	lux
P200	zrnitost
Z	zředění svarového kovu a základního materiálu
S_z	obsah plochy závaru
S_n	obsah plochy návaru
DIN	Německá národní norma
ČSN	Česká národní norma
EN	Evropská norma

ISO Mezinárodní norma

M8 velikost závitu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Obnova pasivační vrstvy za působení kyslíku [4].....	13
<i>Obr. 2</i> Diagram Fe-Fe ₃ C [2].....	15
<i>Obr. 3</i> Diagram Fe - austenitotvorný prvek. [2].....	16
<i>Obr. 4</i> Diagram Fe-C,N oblast austenitu je omezena další fází. [2].....	16
<i>Obr. 5</i> Diagram Fe-feritotvorný prvek, ferit stabilní v celé oblasti koncentrace. [2].....	17
<i>Obr. 6</i> Diagram Fe-feritotvorný prvek, oblast feritu omezena. [2].....	17
<i>Obr. 7</i> Rozšíření oblasti γ vlivem působení uhlíku ve slitině Fe-Cr. [2].....	18
<i>Obr. 8</i> Oblasti chemických složení různých typů korozivzdorných ocelí. [1].....	19
<i>Obr. 9</i> Typické příklady struktur: a) materiál s feritickou strukturou, b) materiál s martenzitickou, c) s austenitickou strukturou, d) austeniticko feritickou [4].....	20
<i>Obr. 10</i> Příklady tahových křivek martenzitické oceli (3 Cr 13), feritické (1Cr18) a austenitické (08 Cr 18 Ni 9). [1].....	20
<i>Obr. 11</i> Rovnovážný diagram železo-chrom [5].....	21
<i>Obr. 12</i> Příklad použití oceli 1.4512 [7].....	22
<i>Obr. 13</i> Příklad použití oceli 1.4510 [4].....	23
<i>Obr. 14</i> Schäfflerův diagram [8].....	27
<i>Obr. 15</i> De-longův diagram [8].....	28
<i>Obr. 16</i> Příklady využití oceli AISI 304 (1.4301) [4].....	29
<i>Obr. 17</i> Pracovní diagramy korozivzdorných ocelí a uhlíkové, od 0 do 0,75 % deformace. [10].....	31
<i>Obr. 18</i> Typy svarových spojů vzhledem k sestavení svařovaných dílů [12].....	34
<i>Obr. 19</i> Vybrané typy svarů s příkladem jejich označování ve výkresové dokumentaci. [12].....	35
<i>Obr. 20</i> Schéma svarového spoje vytvořeného tavným svařováním. [14].....	35
<i>Obr. 21</i> Tepelně ovlivněná oblast tavného svaru. [1].....	35
<i>Obr. 22</i> Názorný přehled poloh svařování na plechu [12].....	36
<i>Obr. 23</i> Schéma zařízení pro svařování metodou MIG/MAG. [16].....	38
<i>Obr. 24</i> Druhy přenosu kovu v oblouku. [15].....	39
<i>Obr. 25</i> Vliv ochranného plynu na tvar a rozměry svaru [11].....	40
<i>Obr. 26</i> Schéma zařízení pro svařování metodou TIG [16].....	41
<i>Obr. 27</i> Vliv polarity na tvar svarové lázně [17].....	42
<i>Obr. 28</i> Schéma bodového svařování [12].....	44
<i>Obr. 29</i> Časový průběh svařování jednoho bodu [11].....	44
<i>Obr. 30</i> Mikrotrhlina v ose svarového kovu austenitické oceli [8].....	47

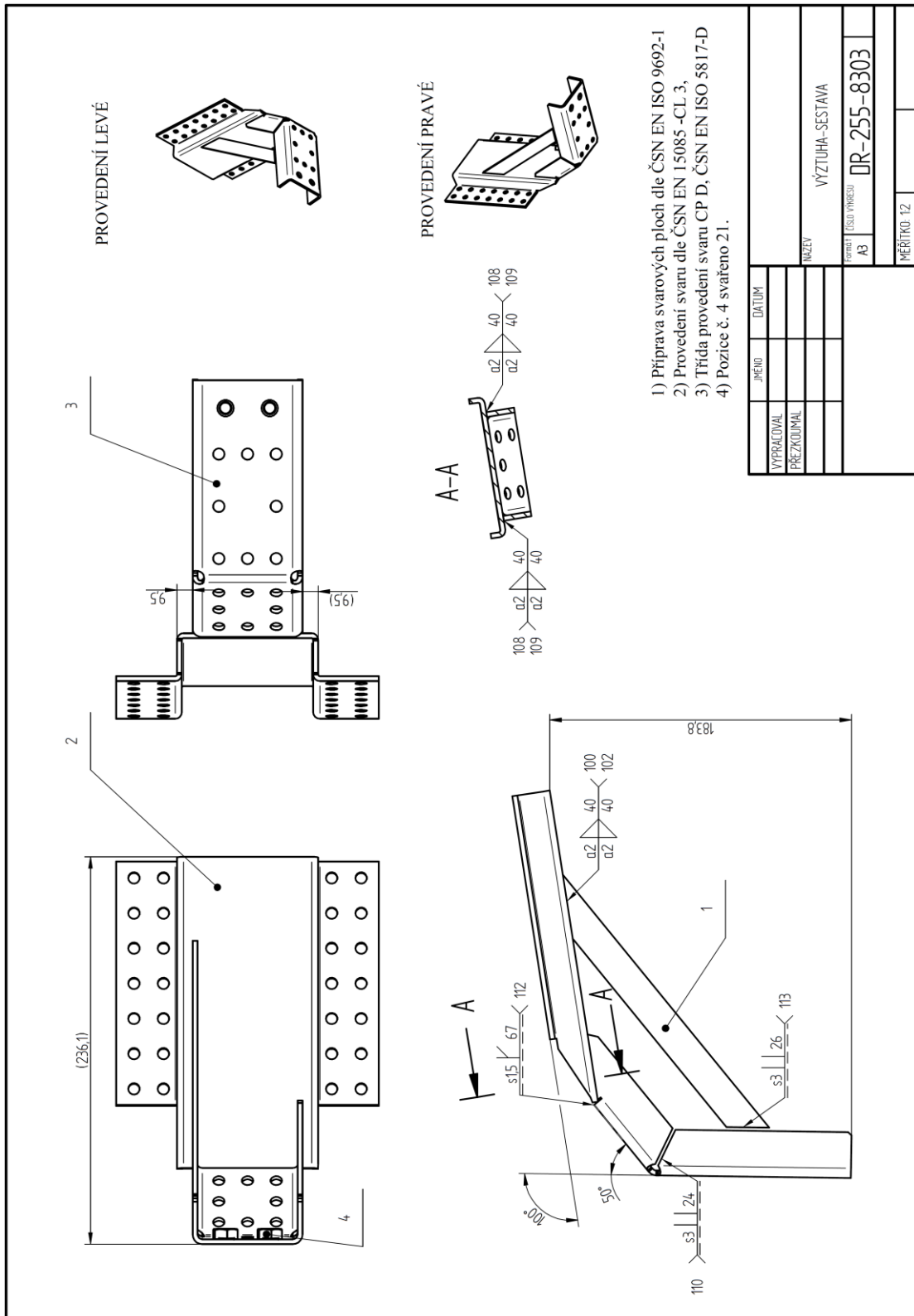
<i>Obr. 31 Teplotní cyklus svařování oceli AISI 304 se zvýrazněným rozsahem teplot zcitlivění [8].....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 32 Závislost obsahu uhlíku na teplotě a čase oceli Cr18-9Ni. [17]</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 33 Vznik sigma fáze u oceli 19Cr9Ni. (B- začátek precipitace, H- polovina, E-konec) [17].....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34 Koroze za napětí oceli 316L [8]</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 35 Model sestavy kompozitního dílu se zálsky [22]</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 36 Model sestavy svařované výztuhy [22]</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 37 De-Longův diagram, struktura základního materiálu [22].....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 38 Svařovací zdroj Fronius TPS 2700 [22].....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 39 Svařovací zdroj Fronius Magic Wave 2200 [22]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 40 Utržená matice M8 a základní materiál [22]</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 41 Vzorek svařený metodou MAG [22]</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 42 Broušení vzorku pro pozorování makrostruktury [22]</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 43 Leptání vzorku [22]</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 44 Pozorování makrostruktury [22]</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 45 Vzorky zhotovené metodou MAG [22].....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 46 Vzorky zhotovené metodou TIG [22]</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 47 Měření obsahu ploch závaru a návaru [22]</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 48 Znázornění odhadu struktury svarových kovů v De-Longově diagramu [22].....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 49 Dělení polotovarů vodním paprskem [22].....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 50 Ohyb polotovarů na ohraňovacím lisu [22]</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 51 Kořenová strana svaru bez použití sekundární ochrany [22]</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 52 Nanesená formovací pasta na kořenové straně svařovaného dílu [22].....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 53 Povrch a kořen svaru zhotoveného metodou TIG [22].....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 54 Odporové přivařování matic [22].....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 55 Sestehovaný díl připravený ke svařování [22]</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 56 Měření teploty kontaktním teploměrem. [22]</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 57 Svar zhotovený metodou MAG [22].....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 58 Svařované díly před čištěním, metoda MAG (vlevo), metoda TIG (vpravo) [22]</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 59 Použité nářadí pro broušení a čištění svarů [22].....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 60 Svařované díly s naneseným mořícím přípravkem [22]</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 61 Svařované díly po moření a pasivaci [22]</i>	<i>78</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Rozdělení martenzitických ocelí. [1].....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 2 Závislost tvrdosti na obsahu uhlíku po kalení a popouštění. [7].....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 3 Systém číselného označování ČSN EN 10027-2 [10]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4 Rozdělení hlavních tříd ocelí. [10]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 5 Značení podle AISI [13].....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 6 Rozdělení podle stupně automatizace u jednotlivých metod [16].....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 7 Příklady parametrů pro svařování vybraných druhů korozivzdorných ocelí [18] ...</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 8 Chemické složení základního materiálu [22].....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 9 Chemické složení přídavného materiálu 316Lsi [22].....</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 10 Chemické složení přídavného materiálu 308L-Si [22]</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 11 Seznam svarů pro tvorbu návodek. [22]</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 12 Parametry svařování koutového spoje. [22].....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 13 Parametry svařování tupého spoje. [22]</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 14 Parametry svařování spoje s částečným závarem [22]</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 15 Parametry svařování koutového svaru [22]</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 16 Parametry pro svařování tupého svaru [22]</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 17 Parametry svařování pro svar s částečným závarem. [22]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 18 Hodnoty vneseného tepla použitých metod a typů spojů [22]</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 19 Parametry svařování pro matici M8 [22].....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 20 Parametry nastavované na zdroji TECNA 4666 [22].....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 21 Hodnoty zředění základního materiálu se svarovým kovem [22]</i>	<i>70</i>

SEZNAM PŘÍLOH**PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ VÝKRES SESTAVY VÝROBKU****PŘÍLOHA P II: KONSTRUKČNÍ KUSOVNÍK****PŘÍLOHA P III: TECHNOLOGICKÝ POSTUP PRO METODU TIG****PŘÍLOHA P IV: TECHNOLOGICKÝ POSTUP PRO METODU MAG****PŘÍLOHA P V: SVAŘOVACÍ NÁVODKA MAG KOUTOVÝ SVAR****PŘÍLOHA P VI: SVAŘOVACÍ NÁVODKA MAG TUPÝ SVAR****PŘÍLOHA P VII: NÁVODKA MAG ČÁSTEČNÝ ZÁVAR****PŘÍLOHA P VIII: NÁVODKA TIG KOUTOVÝ SVAR****PŘÍLOHA P IX: NÁVODKA TIG TUPÝ SVAR****PŘÍLOHA P X: NÁVODKA TIG ČÁSTEČNÝ ZÁVAR****PŘÍLOHA P XI: NÁVODKA ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ****PŘÍLOHA P XII: SNÍMKY MAKROSTRUKTUR**

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÝ VÝKRES SESTAVY VÝROBKU



PŘÍLOHA P II: KONSTRUKČNÍ KUSOVNÍK

Poz.	Číslo výkresu	Název	Materiál	Norma/Výrobce	Mn.	MJ	Hmot.
1	DR_255_8303_1	Podstava	1.4301		1+1	ks	0,784
2	DR_255_8303_3	Výztuha	1.4301		1+1	ks	0,083
3	DR_255_8303_2	Profil spojovací	1.4301		1+1	ks	0,462
4		Maticice DIN 929 M8	A2	DIN 929	2+2	ks	
Revize				Zpracoval:	Název:	Číslo výkresu:	
				Datum:	Výztuha-Sestava	DR-255-8303	
				Přezkoušel:	Projekt:	Index:	
	R	Komentář	Datum	Autor	Technolog:		

PŘÍLOHA P III: TECHNOLOGICKÝ POSTUP PRO METODU TIG

Název: VÝZTUHA-SESTAVA		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 1/3	
Počet Ks:	1	Datum vypracování:	02.05.2020	Vypracoval:	Hrabica
Materiál	1.4301	114X214x3mm	1	0,462/ks	
	1.4301	195X196x3mm	1	0,784/ks	
	1.4301	202x23x3mm	1	0,083/ks	
	DIN 929 A2	M8	2	-	
	Jakost	Rozměr	Počet kusů	Hmotnost	

1	Pracoviště: TPV		
	Výrobní úkon: Příprava výrobní dokumentace		
		ks	Poznámka
	1. Příprava výkresové dokumentace		Rozvinuté tvary ve formátu DXF.
	2. Příprava rozvinutých tvarů		
	3. Příprava evidenční dávky	1	
2	Pracoviště: Vodní paprsek		
	Výrobní úkon: Příprava programu a dělení materiálu		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Zajistit proti přímému kontaktu s roštem stroje použitím vhodné podložky.
	2. DR_255_8303_2	1	
	3. DR_255_8303_3	1	
3	Pracoviště: Zámečnická dílna		
	Výrobní úkon: Odjehlení, přeregulování děr, frézování úkosů		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Odjehlení, použité brusiva určené pro nerez oceli. Zabránit kontaktu s uhlíkovou ocelí.
	2. DR_255_8303_2 2xØ10,5mm	1	
	3. DR_255_8303_3	1	
	Díl: DR_255_8303_2, frézování úkosů 4x30°, otupení 1mm, výkres sestavy DR_255_8303, pozice svaru č.110		
4	Pracoviště: Ohraňovací lis		
	Výrobní úkon: Příprava programu a ohýbání		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Ohyb dle výkresové dokumentace. Dodržet správný směr rozevření úkosů.
	2. DR_255_8303_2	1	
	3. DR_255_8303_3	1	

Název: VÝZTUHA-SESTAVA		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 2/3
5	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 110			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_3	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303	
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W089 Použití Cu přípravku I/073/303			
6	Pracoviště: Svařovna			
	Výrobní úkon: Odporové svařování matic			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_3	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Zabránit kontaktu s uhlíkovou ocelí.	
	2. DIN 929 M8 A2	2		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W086			
7	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 108,109			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Svařovat v pořadí: vnitřní svar, chlazení pod 100°C, očištění ploch, vnější svar	
	2. DR_255_8303_3	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W090			
8	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 112			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303	
	2. DR_255_8303_3	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W091			
9	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 100,102,113			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Svařovat v pořadí: vnitřní svar, chlazení pod 100°C, očištění ploch, vnější svar	
	2. DR_255_8303_3	1		
	3. DR_255_8303_2	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W089,W090 Použití Cu přípravku: I/073/303 (svar 113)			

Název: VÝZTUHA-SESTAVA		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 3/3
10	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Čištění, úprava svarů			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1	Použité nářadí, určené pro kontakt s austenitickou ocelí.	
11	Pracoviště: Pracoviště technické kontroly			
	Výrobní úkon: Kontrola dle výkresové dokumentace			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1		
	VT 100% Metodika dle: ČSN EN ISO 17637 Kvalifikace: ČSN EN ISO 5817, stupeň jakosti D			
12	Pracoviště: Lakovna			
	Výrobní úkon: Moření, pasivace			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1	Před mořením, před pasivací a po dokončení: oplach vodou o minimálním tlaku 130 bar.	
	Postup moření a pasivace dle návodu výrobce.			

PŘÍLOHA P IV: TECHNOLOGICKÝ POSTUP PRO METODU MAG

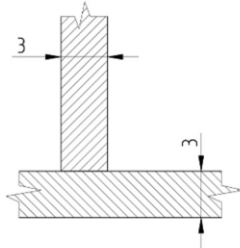
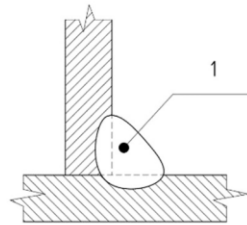
Název: VÝZTUHA-SESTAVA		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 1/3
Počet Ks:	1	Datum vypracování:	02.05.2020	Vypracoval: Hrabica
Materiál	1.4301	114X214x3mm	1	0,462/ks
	1.4301	195X196x3mm	1	0,784/ks
	1.4301	202x23x3mm	1	0,083/ks
	DIN 929 A2	M8	2	-
	Jakost	Rozměr	Počet kusů	Hmotnost

1	Pracoviště: TPV		
	Výrobní úkon: Příprava výrobní dokumentace		
		ks	Poznámka
	1. Příprava výkresové dokumentace		Rozvinuté tvary ve formátu DXF.
	2. Příprava rozvinutých tvarů		
	3. Příprava evidenční dávky	1	
2	Pracoviště: Vodní paprsek		
	Výrobní úkon: Příprava programu a dělení materiálu		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Zajistit proti přímému kontaktu s roštem stroje použitím vhodné podložky.
	2. DR_255_8303_2	1	
	3. DR_255_8303_3	1	
3	Pracoviště: Zámečnická dílna		
	Výrobní úkon: Sražení hran, přeregulování děr		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Sražení všech hran 0,2x45°, použité brusiva určené pro nerez oceli. Zabránit kontaktu s uhlíkovou ocelí.
	2. DR_255_8303_2 2xØ10,5mm	1	
	3. DR_255_8303_3	1	
4	Pracoviště: Ohraňovací lis		
	Výrobní úkon: Příprava programu a ohýbání		
		ks	Poznámka
	1. DR_255_8303_1	1	Ohyb dle výkresové dokumentace.
	2. DR_255_8303_2	1	
	3. DR_255_8303_3	1	

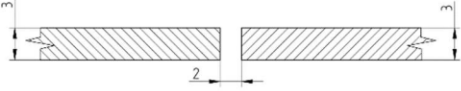
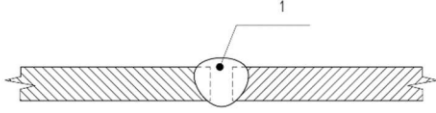
Název: Výztuha		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 2/3
5	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 110			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_3	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303	
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W085 Použití Cu přípravku I/073/303			
6	Pracoviště: Svařovna			
	Výrobní úkon: Odporové svařování matic			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_3	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Zabránit kontaktu s uhlíkovou ocelí.	
	2. DIN 929 M8 A2	2		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W086			
7	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 108,109			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Svařovat v pořadí: vnitřní svar, chlazení pod 100°C, očištění ploch, vnější svar	
	2. DR_255_8303_3	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W087			
8	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 112			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303	
	2. DR_255_8303_3	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W088			
9	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Svar 100,102,113			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303_1	1	Rozmístění svarů dle výkresu sestavy: DR_255_8303 Svařovat v pořadí: vnitřní svar, chlazení pod 100°C, očištění ploch, vnější svar	
	2. DR_255_8303_3	1		
	3. DR_255_8303_2	1		
	Parametry svařování, příprava svarových ploch: Návodka svařování W087,W085 Použití Cu přípravku: I/073/303 (svar 108)			

Název: Výztuha		Číslo výkresu: DR_255_8303		Listů: 3/3
10	Pracoviště: Svařovna, oddělené pracoviště pro nerez oceli			
	Výrobní úkon: Čištění, úprava svarů			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1	Použité nářadí, určené pro kontakt s austenitickou ocelí.	
11	Pracoviště: Pracoviště technické kontroly			
	Výrobní úkon: Kontrola dle výkresové dokumentace			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1		
	VT 100%			
	Metodika dle: ČSN EN ISO 17637 Kvalifikace: ČSN EN ISO 5817, stupeň jakosti D			
12	Pracoviště: Lakovna			
	Výrobní úkon: Moření, pasivace			
		ks	Poznámka	
	1. DR_255_8303	1	Před mořením, před pasivací a po dokončení: oplach vodou o minimálním tlaku 130 bar.	
	Postup moření a pasivace dle návodu výrobce.			

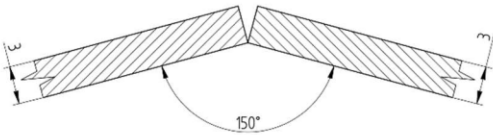
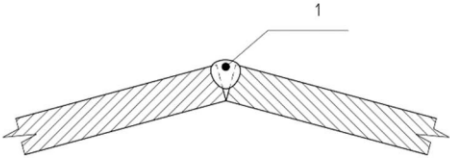
PŘÍLOHA P V: SVAŘOVACÍ NÁVODKA MAG KOUTOVÝ SVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W087								
Metoda svařování: 135				Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448				
Typ spoje: FW				Vnější průměr (mm): -				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje: a2				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PB				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	135-P	0,8	140-154	21-22	DC	+	0,52	5,22
Přídavný materiál: EN ISO 14343-A: G 19 12 13 Lsi, AWS 316Lsi								
Předpis sušení:								
Ochranný plyn		Druh: M13 (Ar 97%, O ₂ 3%)			Průtok (l/min): 11			
Ochrana kořene		Druh: -			Průtok (l/min):			
Wolframová elektroda:		-			Rozkvyv: -			
Teplota předehřevu:		-						
Interpass (max):		-						
Tepelné zpracování po svaření:		-						
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

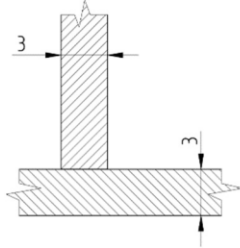
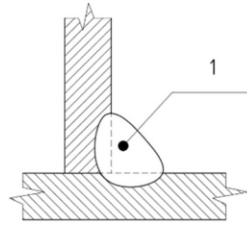
PŘÍLOHA P VI: SVAŘOVACÍ NÁVODKA MAG TUPÝ SVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W085								
Metoda svařování: 135				Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1				
Typ spoje: BW				Číslo tavby: 11903448				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Vnější průměr (mm):				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
				Velikost koutového spoje:				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	135-P	0,8	71-82	15,1-18,3	DC	+	0,27	4,47
Přídavný materiál: EN ISO 14343-A: G 19 12 13 Lsi, AWS 316Lsi								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: M13 (Ar 97%, O ₂ 3%)			Průtok (l/min): 11		
Ochrana kořene			Druh: Formovací pasta CHEMWELD 2800			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkvy: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

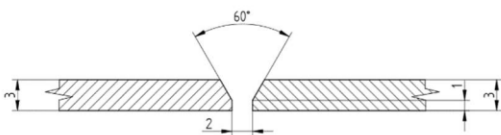
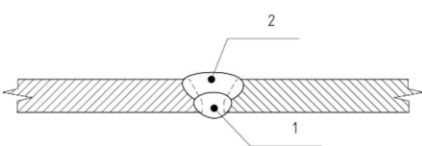
PŘÍLOHA P VII: NÁVODKA MAG ČÁSTEČNÝ ZÁVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W088								
Metoda svařování: 135				Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448				
Typ spoje: BW				Vnější průměr (mm): -				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost spoje: s1,5				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr před. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	135-P	0,8	75-86	15,6-18,3	DC	+	0,21	6,1
Přídavný materiál: EN ISO 14343-A: G 19 12 13 Lsi, AWS 316Lsi								
Předpis sušení:								
Ochranný plyn	Druh: M13 (Ar 97%, O ₂ 3%)					Průtok (l/min): 11		
Ochrana kořene	Druh: -					Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda:	-					Rozkvy:		
Teplota předehřevu:	-							
Interpass (max):	-							
Tepelné zpracování po svaření:	-							
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

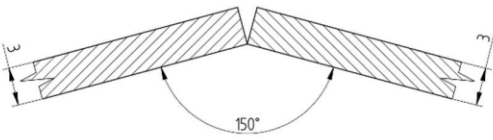
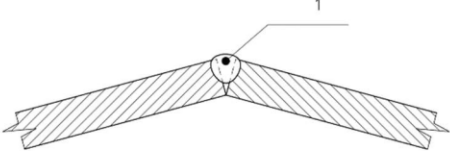
PŘÍLOHA P VIII: NÁVODKA TIG KOUTOVÝ SVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W090								
Metoda svařování: 141					Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448			
Typ spoje: FW					Vnější průměr (mm): -			
Údaje o přípravě svarových ploch:					Svařovaná tloušťka (mm): 3mm			
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem					Velikost koutového spoje: a2			
					Poloha svařování – EN ISO 6947: PB			
Tvar a rozměr svarového spoje					Postup kladení housenek			
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	141	2.0	135	12,6-14	DC	-		1,25
Přídavný materiál: EN ISO 14343-A W 19 9 L, AWS 308L-Si								
Předpis sušení:								
Ochranný plyn			Druh: II, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 9		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):-		
Wolframová elektroda:			2,4mm WC20			Rozkyv: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky: -								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								


PŘÍLOHA P IX: NÁVODKA TIG TUPÝ SVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W089								
Metoda svařování: 141				Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448				
Typ spoje: BW				Vnější průměr (mm): -				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje:				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	141	2	80	10,2-11,2	DC	-	0,40	1,3
2	141	2	75	10,2-11,1	DC	-	0,45	1,1
Přídavný materiál: EN ISO 14343-A W 19 9 L, AWS 308L-Si								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn		Druh: I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 9			
Ochrana kořene		Druh: Formovací pasta CHEMWELD 2800			Průtok (l/min): -			
Wolframová elektroda: 2,4mm WC20						Rozkvv: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): 100°C								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

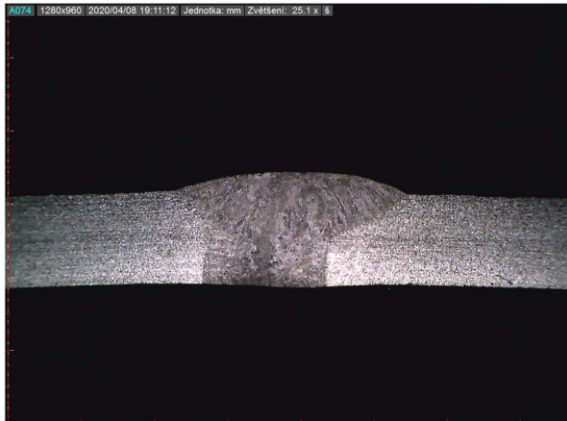
PŘÍLOHA P X: NÁVODKA TIG ČÁSTEČNÝ ZÁVAR

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W091								
Metoda svařování: 141				Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448				
Typ spoje: BW				Vnější průměr (mm): -				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 20mm, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost spoje: s1.5				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	141	2,0	110	11,5-12,9	DC	-		2,58
Přídavný materiál:								
Předpis sušení:								
Ochranný plyn		Druh: 11, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 9			
Ochrana kořene		Druh: -			Průtok (l/min): -			
Wolframová elektroda:		2,4mm WC20			Rozkvy: -			
Teplota předehřevu: -					Max. šířka housenky: -			
Interpass (max): -					Údaje o pulsním svařování: -			
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

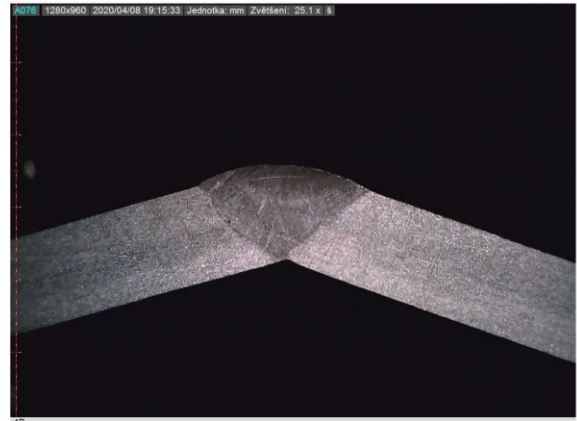
PŘÍLOHA P XI: NÁVODKA ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W086								
Metoda svařování: 21					Základní materiál: EN 10028-7: 1.4301 sk.8.1 Číslo tavby: 11903448			
Typ spoje: výstupkový svar, matice + plech					Vnější průměr (mm): -			
Údaje o přípravě svarových ploch:					Svařovaná tloušťka (mm): 3mm			
Obrousit, odmastit, očistit ocelovým kartáčem (nerez) v okolí děr. Průměr díry 10,5 dle DIN 929.					Velikost koutového spoje: -			
					Poloha svařování – EN ISO 6947: PA			
Tvar a rozměr svarového spoje					Postup kladení housenek			
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací proud (A, %)	Napětí (V)	Druh proudu	Svařovací tlak (daN, bar)	Vnesené teplo (kJ/mm)	Svařovací čas (periody, s)
	21	M8	8255A, 65%		AC	470		4 0,08
Přídavný materiál: Matice M8 DIN 929 A2								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: -			Průtok (l/min): -		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min): -		
Wolframová elektroda: -						Rozkyv: -		
Teplota předehřevu: -						Max. šířka housenky: -		
Interpass (max): -						Údaje o pulsním svařování: -		
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky: Technologická zkouška momentovým klíčem 60Nm.								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

PŘÍLOHA P XII: SNÍMKY MAKROSTRUKTUR



5A



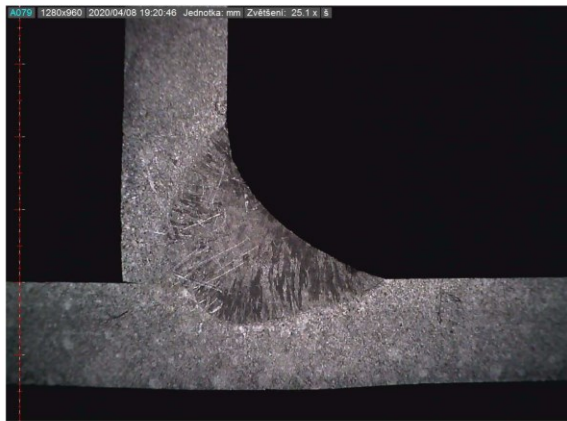
4B



1B



2B



6B



3B