



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROCESU SVAŘOVÁNÍ NÍZKOTLAKÝCH TRUBKOVÝCH SAD

OPTIMIZATION OF THE WELDING PROCESS FOR LOW - PRESSURE TUBULAR SETS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpán Urbánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marian Sigmund, Ph.D., IWE

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Štěpán Urbánek**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Marian Sigmund, Ph.D., IWE**
Akademický rok: 2021/22

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

Optimalizace procesu svařování nízkotlakých trubkových sad

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vzhledem k plánovanému navýšení kapacity svařování nízkotlakých potrubí ve spolupracující firmě. Se bude jednat o zhodnocení současného stavu svařování těchto dílců ve výrobě a návrh, jak systémových, tak prakticky proveditelných změn procesu svařování. S ohledem na zefektivnění stávajícího procesu svařování a nutných a potřebných kvalifikací procesů propojených se systémem zajištění kvality svařování ve spolupracující firmě.

Cíle diplomové práce:

Zhodnocení současného stavu výroby a svařování dílce.

Literární rešerže použitých materiálů a technologií –postupů svařování.

Návrh opatření k optimalizaci zefektivnění vybraných podprocesů svařování.

Vyhodnocení navrhované optimalizace.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

HRSTKA, David, 2010. Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru: Monitoring welding parameters during MAG welding process as instrument to ensure weld quality : [autoreferát disertační práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7372-668-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje zavedení procesu výroby nízkotlakých trubkových sad pro hydraulické agregáty ve společnosti Bosch Rexroth spol. s r.o. V první části je uveden literární rozbor používaných technologií a základních svařovaných materiálů. Druhá část se zaměřuje na vybrané podprocesy pro zajištění výroby a návrhy pro jejich zefektivnění. Součástí je shrnutí odpovědností napříč odděleními a následně vzor pro zpracování nutné technické dokumentace pro plynulý chod výroby. Dalším z návrhů je technologický postup pro praktické ověření výroby, který zároveň slouží jako základ pro měření doby svařování. Důvodem pro zavedení výroby byly prodlužující se termíny dodání trubkových sad od dodavatelů a případná finanční úspora. V závěru praktické části je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení, které vyjadřuje právě možnou finanční úsporu při výrobě nízkotlakého potrubí namísto dosavadního režimu v rámci kooperace s dodavateli.

Klíčová slova

Ruční svařování TIG, uhlíková ocel, zavedení výroby, výroba nízkotlakého potrubí, doba svařování

ABSTRACT

The diploma thesis examines the implementation of the production process of low-pressure pipe sets for hydraulic aggregates in the company Bosch Rexroth. The first part presents a literature analysis of used technologies and basic welded materials. The second part focuses on selected subprocesses ensuring the production and proposals for their streamlining. It includes a summary of responsibilities across departments and a template for processing the necessary technical documentation for the smooth running of production. Another proposal includes a technological procedure for practical verification of the production, which simultaneously serves as a basis for measuring the welding time. The reason for the implementation of this production was the extended delivery time of pipe sets from suppliers and possible financial savings. The practical part is concluded with a technical and economical evaluation, which expresses the possible financial savings in the production of low-pressure pipelines instead of the current state involving the cooperation with suppliers.

Key words

Manual TIG welding, carbon steel, implementation of the production, production of low-pressure pipes, welding time

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

URBÁNEK, Štěpán. *Optimalizace procesu svařování nízkotlakých trubkových sad* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139672>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marian Sigmund.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Optimalizace procesu svařování nízkotlakých trubkových sad vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20. 5. 2022

.....
místo, datum

.....
Bc. Štěpán Urbánek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Marianu Sigmundovi, Ph.D., IWE za vedení, cenné připomínky a rady týkající se zpracování této diplomové práce. Dále děkuji zaměstnancům brněnské společnosti Bosch Rexroth spol. s r.o. za trpělivost, ochotu, pomoc a cenné rady při zpracování této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Představení společnosti Bosch Group.....	11
1.1.1 Bosch Rexroth.....	11
1.2 Produktové portfolio společnosti Bosch Rexroth.....	13
1.2.1 Produkce hydraulických agregátů.....	14
2 POSTUPY SVAŘOVÁNÍ PŘI VÝROBĚ NÍZKOTLAKÉHO POTRUBÍ.....	16
2.1 Obloukové svařování metodou TIG – 141.....	17
2.1.1 Wolframové elektrody.....	20
2.1.2 Svařovací hořáky.....	24
2.1.3 Ochranné plyny.....	26
2.1.4 Ruční svařování a stehování.....	27
2.2 Materiály a jejich svařitelnost.....	28
2.2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí.....	29
2.2.2 Vlastnosti a svařitelnost austenitických korozivzdorných ocelí.....	33
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
3.1 Zhodnocení současného stavu výroby.....	37
3.1.1 Nový layout a rozšíření svařovny.....	40
3.1.2 Tok materiálu a jeho uskladnění.....	43
3.1.3 Odpovědnosti.....	45
3.2 Svařovací plány, WPS.....	46
3.2.1 Welding book, realizace svarů, archivace WP.....	47
3.3 Technologický postup.....	48
3.3.1 Měření času výroby, tvorba normy.....	54
3.4 Proces NDT, formuláře VT.....	56
TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	57
ZÁVĚR.....	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	60
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
SEZNAM PŘÍLOH.....	65

ÚVOD

Oblast strojírenství coby obor lidské činnosti dnes spojuje širokou škálu odvětví. Mezi tato odvětví neodmyslitelně patří hydraulika, která, jakožto technická disciplína, je v dnešní době velmi rozšířená. Hydraulické prvky, sloužící k pohonu, regulaci výkonu a rychlosti strojů, tvoří důležité prvky průmyslových strojů a zařízení. Naleznou využití nejen ve strojírenském průmyslu, ale také v oblasti stavebnictví, zemědělství, v dopravě nebo při manipulaci s materiálem. Pro pohonné jednotky je typické spojení z nádrže na hydraulickou kapalinu a z příslušenství, které dohromady tvoří hydraulický agregát. Toto zařízení je následně možné použít pro přesná ovládání výrobních strojů a zařízení. Hydraulické pohony se hojně používají jako pohony lisů, pro ovládání rozměrných dveří nebo pro ovládání lopatek turbín aj.

Nedílnou součástí těchto komplexních zařízení je i soustava hydraulických potrubí, ve kterém proudí hydraulické kapaliny. Výrobní závod společnosti Bosch Rexroth spol. s r.o., sídlící v Brně, se rozhodl zavést výrobu nízkotlakých potrubních sad za použití technologie svařování (obr. 1). Svařování je jednou z nejpoužívanějších metod pro vytvoření nerozebíratelného spojení. Jelikož jde o svařování tlakových součástí, podléhá produkce určitým normám a zároveň je důležité navrhnout úpravu procesu, kde doposud probíhala majoritně výroba montážní.



Obr. 1 Svařování nízkotlakých trubkových sad pro použití na hydraulických agregátech.

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vedení výroby brněnského závodu společnosti Bosch Rexroth spol. s r.o. (dále BR) se rozhodlo z několika důvodů navýšit kapacitu svařování nízkotlakých potrubních sad (obr. 2), které jsou nedílnou součástí hydraulických agregátů. Mezi tyto důvody patří primárně časové prodlevy dodání od jednotlivých dodavatelů a zároveň by toto navýšení mělo znamenat jistý ekonomický přínos. Doposud probíhala výroba těchto sad ve spolupráci s několika dodavateli, kdy zhruba 80 % zhotovených svarů na jednotlivých dílcích zpracoval dodavatel a zbývajících 20 % svarů zhotovila výroba BR v Brně. Z hlediska kapacitního plánování byl však tento stav vyhodnocen jako nevyhovující a začalo se uvažovat o navýšení kapacity svařování, tedy až na 100 % výroby nízkotlakých potrubních sad ve výrobě BR. Byly provedeny základní analýzy proveditelnosti v podobě simulací zakázek a následně zadán úkol na nastavení procesu svařování. Tento úkol de facto popisuje téma této diplomové práce. Je potřeba shrnout veškeré technologické postupy, které daná společnost využívá, a zároveň revidovat stávající proces svařování. Témata týkající se technologického postupu budou nadále popsána v teoretické části práce. Jedná se především o metody svařování a svařované materiály. Revizí jednotlivých podprocesů svařování se bude týkat též stanovení kompetencí jednotlivých oddělení napříč společností, aby bylo možné detailně plánovat kapacity jednotlivých částí výroby. Bude zpracován layout svařovny, který bude počítat s jejím rozšířením, tokem materiálu v jednotlivých fázích výroby a v neposlední řadě by měl být zpracován základní kalkulační systém pro kapacitní plánování svařování.

Pro nízkotlaký okruh hydraulických agregátů se svařují trubkové sady z komponent z uhlíkových ocelí z materiálové skupiny 1.1 a 1.2 a korozi-vzdorné oceli třídy 8.1 dle označení TNI CEN ISO/TR 15608. Nejrozsáhlejší zastoupení má potrubí, jejichž rozměry se pohybují od vnějšího průměru 48,3 mm a síly 3,2 mm do maximálního vnějšího průměru 273,0 mm o síle 6,3 mm. [42]



Obr. 2 Svařovaná nízkotlaká trubková sada.

1.1 Představení společnosti Bosch Group

Bosch Group je celosvětový přední dodavatel technologií a služeb. Svými inovativními produkty a službami chce zlepšovat kvalitu života. Ve zkratce, cílem společnosti Bosch je vytvářet technologie které jsou „Stvořeny pro život“. [18]

Společnost je členěna do čtyř obchodních oblastí [18]:

- Automobilová technika je největší divizí společnosti. Patří mezi přední dodavatele v automobilovém průmyslu. Kromě vybavení automobilů (elektronika, navigace, bezpečnostní systémy) se soustředí také na benzinové, dieselové systémy a elektrické pohony.
- Průmyslové technologie – průmyslová technika zahrnuje divizi Drive and Control Technology – tato divize je specialistou na pohonné a řídicí technologie, které zajišťují efektivní a silný pohyb strojů a zařízení všech typů i velikostí. Právě sem spadá jedna z dceřiných společností Rexroth.
- Spotřební zboží – Mezi nejznámější a nejrozšířenější produkty společnosti Bosch patří jednoznačně spotřební zboží, mezi které se řadí elektrické nářadí a domácí spotřebiče.
- Energetika a technika budov – Jak z názvu vyplývá, tato divize nabízí kompletní nabídky služeb a technologií v oblasti zabezpečení, energetickou účinnost a automatizaci budov.

V roce 2020 se počet zaměstnanců pohyboval kolem 395 tisíc. Bosch Group představuje společnost Robert Bosch a dalších zhruba 440 dceřiných firem, které se nachází ve více než 60 zemích světa. [18]

Společnost Bosch zastupují v České republice 4 společnosti s obchodním zaměřením [16]:

- Robert Bosch odbytová s.r.o. (Praha),
- BSH domácí spotřebiče s.r.o. (Praha),
- Bosch Termotechnika s.r.o. (Praha),
- Bosch Rexroth, spol. s.r.o. (Ostrava).

Kromě obchodních společností zastupují společnost Bosch v ČR tyto výrobní závody [16]:

- Robert Bosch, spol. s.r.o. (České Budějovice),
- Bosch Diesel s.r.o. (Jihlava),
- Bosch Rexroth, spol. s.r.o. (Brno),
- Bosch Termotechnika s.r.o. (Krnov).

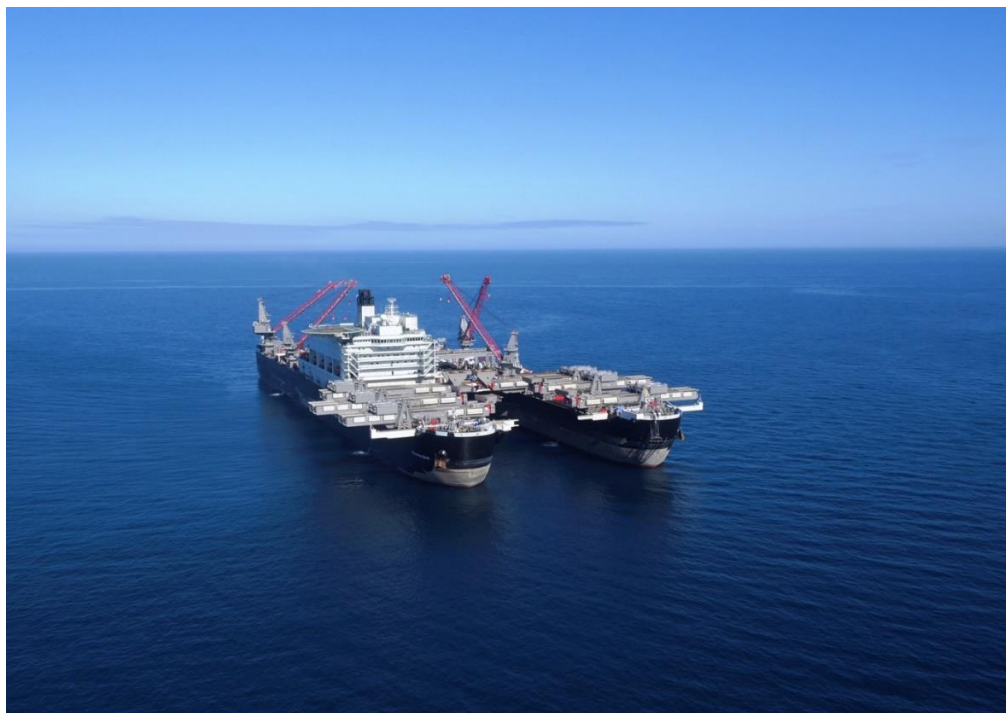
V roce 2020 zaměstnával Bosch přes 8 000 pracovníků. [16]

1.1.1 Bosch Rexroth

Bosch Rexroth reprezentuje oblast průmyslových technologií, konkrétně divizi pohonů a řídicí technologie. Tato divize je rozdělena do několika jednotek, kterými jsou například [15]:

- Průmyslové hydraulické komponenty a systémy (čerpadla, hydromotory, ventily, válce, filtrační technika, rozvaděče atd.).
- Hydraulické agregáty (rozvodné bloky, pohonné jednotky, ventilové stoly atd.).
- Lineární technika, komponenty a systémy (kruhové tyče a pouzdra, kuličková a válečková profilová vedení atd.).
- Jevištní technologie (rotační a lineární tahové jednotky s elektromechanickým nebo elektrohydraulickým pohonem, zvedané jevištní stoly atd.).

Mezi velké projekty, na kterých spolupracoval Bosch Rexroth jsou například loď Pioneering Spirit společnosti Allseas (obr. 3), která odstraňuje vysloužilé ropné plošiny. Konkrétně dodávala společnost Bosch Rexroth spol. s r.o. hydraulická zařízení pro manipulaci s těmito plošinami. Dalším příkladem je divadelní technika a speciální aplikace dodávané pro výletní loď AIDAnova. Pro tuto divadelní scénu byly poskytnuty technologie v podobě LED stěny, točny a tubusu. (obr. 4). [14; 13]



Obr. 3 Allseas – Pioneering Spirit [14].



Obr. 4 Divadelní technika pro loď AIDAnova [12].

Firmu Rexroth založil v roce 1795 George Ludwig Rexroth v Německu. Prvním provozem byla kovárna, která využívala energii dvou vodních toků pro provoz bucharu. V roce 1850 došlo k rozšíření o slévárnu v Lohru nad Mohanem. Postupně byl vybudován provoz se zakázkovou

produkci, aby v roce 1952 mohlo dojít k přebudování firmy v Lohru nad Mohanem na sériovou výrobu hydraulických komponentů. V průběhu let byly připojeny další podniky umožňující dodávky komplexních pohonů nejen pro průmyslové aplikace. Od roku 1976 byl Rexroth součástí společnosti Manesmann, čímž vznikl Manesmann Rexroth, který byl v roce 2001 odkoupen společností Bosch Group. [15]

1.2 Produktové portfolio společnosti Bosch Rexroth

Brněnský závod (dále BrnP) produkuje kusovou, zakázkovou výrobu pro zákazníky BR z celého světa. Největší část výroby zajišťuje oblast DCCZ a DCEM. Mezi nejčastější zákazníky DCCZ patří Škoda Power, Olbrich, Erwin Junker. Pro DCEM jsou významní zákazníci například Thyssen Krupp, SMS. [10]

V BrnP probíhá pouze montáž komponent. Výroba ocelových konstrukcí a nádrží je zajišťována v kooperaci s externími dodavateli. Hydraulické komponenty, jako jsou bloky, ventily, čerpadla, filtry jsou nakupovány od sesterských společností. Jednotliví reprezentanti produktového portfolio brněnského závodu lze zjednodušeně představit takto: [9; 10; 17]

- Hydraulické pohony – elektromotor spojený s čerpadlem, který slouží k vytvoření hydraulického tlaku, či k přečerpávání hydraulické kapaliny.
- Rozvodné bloky – vrtaný rozvodný blok, osazen hydraulickými prvky (logické ventily, škrťací trysky, proporcionální rozvaděče, redukční ventily, který slouží k rozdělení a distribuci hydraulických tlaků.
- Ventilové stoly – jedná se o rozvodný blok, který je z důvodu elektroinstalace usazený na rámu. Elektrický rozvaděč nemůže být umístěn přímo na hydraulických komponentech ale na ocelové konstrukci.
- Akumulátorové stanice – hydraulické zařízení, které slouží k akumulování hydraulického tlaku.
- Hydraulické agregáty – zařízení, které je využíváno jako pohonná jednotka pro hydraulické stroje. Je to sestava nádrže (zdroj hydraulického média), pohonu, rozvodného bloku, akumulátoru a dalších prvků důležitých pro správnou funkci hydraulických agregátů.
- Zkušební standy (obr. 5) – slouží ke zkoušení a nastavování hydraulických čerpadel.



Obr. 5 Stand pro zkoušení a nastavování čerpadel.

1.2.1 Produkce hydraulických agregátů

Jak je již výše uvedeno, hydraulický agregát je využíván jako pohonná jednotka pro hydraulické stroje v rámci jiných strojních celků. Základními prvky agregátů jsou: [9]

- nádrž,
- pohonná jednotka (elektromotor, čerpadlo),
- regulace a řízení (ventily, rozvodné bloky),
- potrubí, hadicová vedení, hydraulické spojovací prvky atd.

Dále dle specifických požadavků zákazníka může být agregát osazen dalšími prvky: [9]

- tlakový zásobník (hydraulický akumulátor plněný dusíkem),
- monitorovací zařízení (hladinoměr, teploměr, ukazatel tlaku aj.),
- filtrační, chladičí a topné jednotky,
- elektroinstalace a ovládací panel.

Výroba hydraulického agregátu spočívá v montáži jednotlivých komponent podle hydraulického schématu, kusovníku a výkresu sestavy. Jednotlivé ocelové konstrukce, jako jsou nádrže, rámy, záchytné vany a potrubní sady jsou dodávány externími dodavateli. Nezbytnou součástí výroby je i lakování komponent ať už částečné či kompletní a zhotovení montážních svarů při montáži potrubí. Zařízení je po ukončení montáže přemístěno do zkušebny, na které je prováděna celková kontrola a funkční zkouška. [9; 10]

Hydraulické agregáty jsou interně rozděleny do kategorií S, M, L, XL, XXL. Základním klíčem k tomuto rozdělení je počet montážních hodin, kdy u XXL (obr. 6) je naplánováno více než 500 montážních hodin a objem nádrže (nejmenší nádrže mají objem 5 litrů, ty největší agregáty, které vyrábí BR pak dokážou pojmout až 50 000 litrů hydraulické kapaliny). [10]



Obr. 6 Agregát velikosti XXL o objemu 40 000 litrů, více než 2 300 výrobních hodin.

Menší hydraulické agregáty S a M nacházejí využití v jednoduchých průmyslových aplikacích (např. obráběcí stroje, manipulátory, upínání). Větší hydraulické agregáty se používají v oblasti

energetiky (ovládání turbín), těžkém průmyslu (protlačovací, tvářecí a kovací lis) nebo v rámci speciálních aplikací (stavebnictví). [9]

Hydraulické okruhy agregátu se dělí na nízkotlaký a vysokotlaký. Pracovní tlak u nízkotlakého okruhu je maximálně 16 barů (filtrační, chladicí a vratný okruh, prosaky). Vysokotlaký okruh pracuje obvykle s tlakem v rozmezí od 120 barů do 400 barů. Tento tlak se odvíjí od požadavků na výkon a aplikaci (řídící a pracovní okruh). [9]

V dosavadním režimu byly vyjma ocelových konstrukcí a nádrží dodávány externími dodavateli právě i veškeré trubkové sady. Za účelem svařování jsou k těmto potrubním sadám vytvářeny svařovací plány. Svařovací plány obsahují výkres trubkové sady, kde jsou znázorněny montážní svary. Od dodavatele jsou trubkové sady označeny identem a číslem listu. Dodavatelem jsou tedy dodány části již svařených trubkových sad viz obrázek 7. Část z nich lze již rovnou montovat na agregát, ovšem jiné části potrubí jsou z montážních důvodů dovažovány ve výrobě BR, aby bylo zaručeno bezvadné napasování trubkové sady na agregát.

Jak lze vidět na obrázku 7, dodavatel zprostředkovává drtivou většinu svarů na trubkové sadě. Jedná se o svary, které kombinují spoje přírub, kolen a samotných trubek. Vedení výroby se rozhodlo tuto výrobu provádět přímo ve výrobním závodě BR. Je očekávána časová a finanční úspora a zároveň efektivnější kapacitní plánování výroby. Používané technologie a základní materiály, které jsou podkladem pro teoretickou část diplomové práce podléhají interním normám, vycházejících ze základních norem svařování. Současně musí být zohledněny a dodrženy veškeré interní normy výrobce a nadále relevantní výrobkové normy. V neposlední řadě nejen samotné svařování, ale i hotové svařence podléhají interním kontrolám kvality a kontrolním procesům.



Obr. 7 Ukázka částečně svařené trubkové sady dodané externím dodavatelem.

2 POSTUPY SVAŘOVÁNÍ PŘI VÝROBĚ NÍZKOTLAKÉHO POTRUBÍ

Z interní směrnice „DCPD 15643-009 Předpisy pro svařování při výrobě agregátů“ vyplývají základní požadavky na svařování vztahující se k výrobku a na provoz zařízení. Tato norma stanovuje na základě jakých pravidel, návodů a všeobecných norem musí být prováděny svářečské práce na ocelových dílech, nádržích a potrubích hydraulických agregátů. Dále jsou v interní směrnici uvedeny požadavky na bezpečnost práce, značení svarů a požadavky na dokumentaci. Pro teoretickou část této práce jsou v této směrnici důležité informace o používaných metodách svařování, základních materiálech, přídavných materiálech (dále PM) a v neposlední řadě jsou v ní uvedeny požadavky na kontrolu svarů a s tím spojené metody zkoušení. Vyjma metod svařování, svařovaných materiálů a přídavných materiálů budou v této kapitole dále popsány používané zařízení jak pro samostatné svařování, tak i pro přípravu jednotlivých komponentů před svařováním. [25; 26; 27]

Pro teoretickou část je též nezbytné uvést požadavky interních norem výrobce na externí dodavatele. Samotný výrobce má zaveden a certifikován systém kvality ve svařování dle normy ČSN EN ISO 3834-2 Management jakosti ve svařování v úrovni 2. Úroveň 2 obsahuje vyšší požadavky na jakost ve svařování. Aby byl systém jakosti ve svařování dodržen napříč celým systémem svařování, tak výrobce po svých dodavatelích dle interního předpisu vyžaduje shodnou úroveň certifikace, popř. certifikaci o řád nižší tzn. v úrovni 3. Standardní požadavky na jakost ve svařování. [25; 26; 27; 40; 41]

Jedním z kritérií výše uvedené certifikace výrobce dle ČSN EN ISO 3834-2 je, aby výrobce měl zajištěnu přítomnost svářečského dozoru organizace, který splňuje požadavky dle ČSN EN ISO 14731 a dále jeho zástupce v případě jeho nepřítomnosti. Práce svářečského dozoru spočívá zejména v zajištění kvality práce u jednotlivých svářečů. Z tohoto důvodu pravidelně dochází k prověření kvality svářeče bez předchozího upozornění. Nadále je též monitorována a zajišťována kvalifikace svářečského personálu. [25; 26; 27; 38; 41]

Z požadavků na svařování vztahujícího se k výrobku vyplývají jednotlivé postupy, které je nutné dodržovat při výrobě svařovaných komponent. Je tedy nutné popsat akceptované metody svařování. Pro kořenovou vrstvu se jedná o metody svařování: [26]

- Metoda 141 - svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře za použití formovacího plynu jak u uhlíkové, tak austenitické oceli.

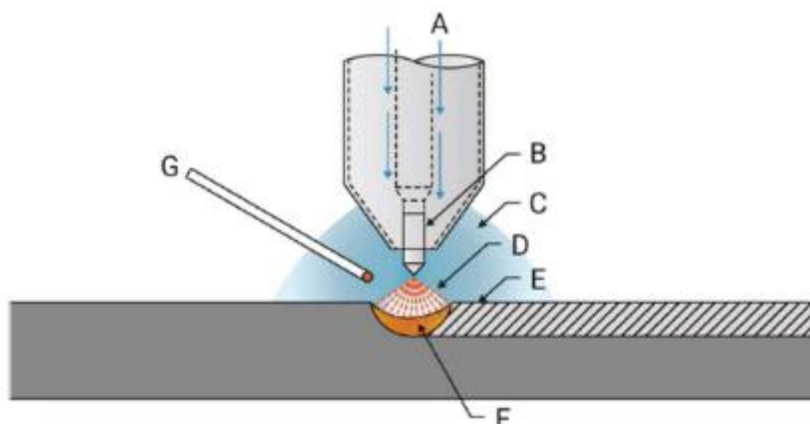
Pro mezivrstvy a krycí vrstvy svaru: [26]

- Metoda 141 – wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře.
- Metoda 111 – ruční obloukové svařování.

Dle interní normy výrobce je pro svařování hydraulických vedení zakázáno použití metody svařování plamenem z důvodu vzniku široké tepelně ovlivněné oblasti a zvýšené oxidaci svaru. Ty mohou být příčinou značných deformací svarových spojů a vnitřních napětí v nich. [26]

2.1 Obloukové svařování metodou TIG – 141

Metoda svařování TIG je označována dle ČSN EN ISO 4063 číslem 141. Tato metoda je zařazována mezi tavné metody svařování elektrickým obloukem. Název TIG pochází z anglického názvu „Tungsten Inert Gas“. Jedná se o metodu svařování v ochranné atmosféře inertního plynu netavící se wolframové elektrody. Někdy bývá tato metoda označována zkratkou WIG, která ale vychází pouze z německého označení „Wolfram Inert Gas“. Základním principem je, že hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Je obklopen atmosférou inertního plynu o vysoké čistotě minimálně 99,995 %. Z plynů je používáno argonu, helia nebo jejich směsi. Takový plyn má za úkol ochranu elektrody, odtavující se kapky přídavného materiálu i tavnou lázeň, proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku, viz obrázek 8. Svařování je realizováno s přídavným materiálem ve formě drátu ručním způsobem nebo automaticky s použitím podavače drátu s konstantní či proměnnou rychlostí jeho podávání podle postupu svařování. [6; 8; 11; 19; 37]

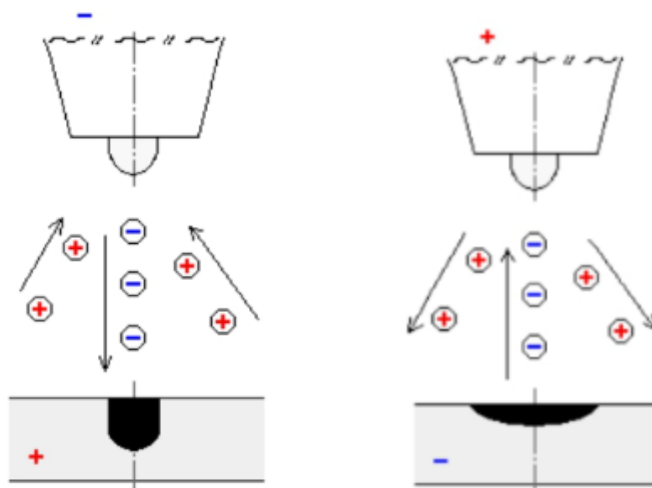


- A. Přívod plynu
- B. Netavící se elektroda
- C. Ochranný plyn
- D. Elektrický oblouk
- E. Navařený kov
- F. Svarová lázeň
- G. Přídavný materiál

Obr. 8 Schéma svařování metodou TIG [5].

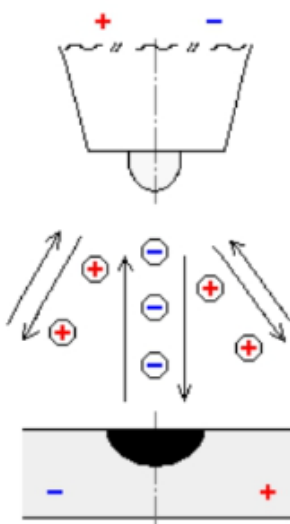
Dle typu proudu rozlišujeme svařování: [4; 11; 19]

- Stejnoseměrným proudem – takové zapojení je základním druhem při svařování metodou TIG. Elektroda je připojena k zápornému pólu zdroje a na kladný pól (přímé zapojení) je zapojen svařovaný materiál. Teplo oblouku je rozděleno nerovnoměrně, tedy asi 1/3 tepla připadá na elektrodu a zbylé 2/3 celkového tepla je přenášeno do základního materiálu. Díky tomu nedochází k tepelnému přetížení elektrody, a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Velkou hloubku závaru má na svědomí i dopad elektronů, které přeměňují svoji kinetickou energii na tepelnou. Svařování stejnosměrným proudem bývá využito pro spojování všech typů ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin. Dá se použít i pro svařování hliníku v ochranné směsi plynů argon a nejméně 75 % helia. Při opačném zapojení, tzv. nepřímou polaritou, je elektroda vystavena většímu tepelnému namáhání, které může vést k jejímu odtavení. Toto zapojení tedy lze použít, ale musí být zajištěno intenzivní chlazení elektrody. Výhodou je tzv. čistící efekt, který odstraňuje povrchové oxidy. Na obrázku 9 jsou vidět příklady pohybu elektronů při přímém, respektive nepřímém zapojení polarity.



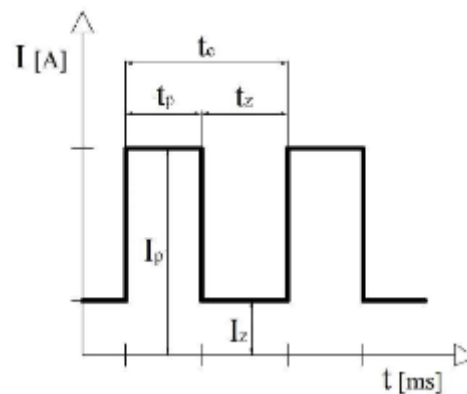
Obr. 9 Přímá polarita a nepřímá polarita [4].

- Střídavým proudem – používá se pro jeho čistící účinek při kladné polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Dochází k periodickému střídání polarity, viz obr. 10. Je tedy možné využít výhod jak přímé, tak nepřímé polarity zároveň. Problémem u hliníku je vrstva oxidu hlinitého, která chrání hliník proti další oxidaci. Vrstvička Al_2O_3 má vysokou teplotu tavení $2050\text{ }^\circ\text{C}$, tudíž při použití stejnosměrného proudu brání metalurgickému spojení, protože pokrývá povrch roztaveného hliníku, který se taví při cca $658\text{ }^\circ\text{C}$. Prvním typem čistícího účinku je při zapojení elektrody na kladný pól zdroje. Na základním materiálu se vytvoří nestabilní katodová vrstva, která se pohybuje na místa pokrytá oxidy. Druhou formou čistícího účinku je rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Ty kvůli relativně vysoké hmotnosti a zároveň urychlení směrem k tavné lázni působí na oxidy mechanickým účinkem. Při kladném zapojení elektrody vzniká pouze malý závar. Vysoké hloubky závaru je dosaženo při zapojení elektrody na záporném pólu zdroje, kdy do tavné lázně dopadají urychlené elektrony.



Obr. 10 Periodické střídání polarity [4].

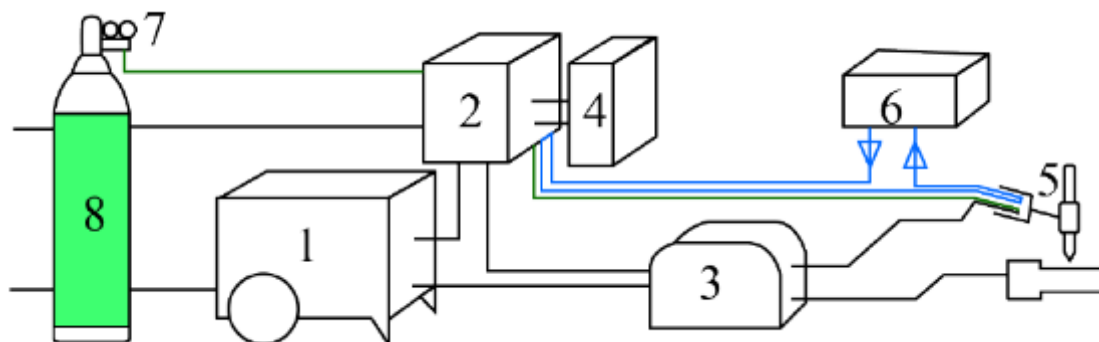
- Impulsním proudem – je nejnovější varianta pro svařování metodou TIG, při které se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami, kterými jsou základní proud I_z a impulsní proud I_p . Umožňuje tedy snižovat objem vneseného tepla do svaru a ovládat plynulé přechody ze svarového kovu do základního materiálu. Základní proud má nízkou hodnotu (cca 10 – 15 A) a zajišťuje ionizaci oblouku v čase t_z . U vysokolegovaných ocelí je výhodné, když je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, protože dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně. Jakmile je kratší, nedochází ke ztuhnutí svarové lázně, která zmenší svůj rozměr, což zajistí svaru hladší kresbu s plynulým přechodem do základního materiálu. Impulsní proud I_p v čase t_p nataví svarovou lázeň a přidavný materiál (obr. 11). Hodnota amplitudy a délka impulsu definují rozměry lázně.



Obr. 11 Průběh impulzního proudu [19].

Obrázek 12 popisuje základní sestavu zařízení pro svařování TIG stejnosměrným proudem. Sestava pro střídavý proud je složitější. Přestože většina komponentů je stejných, dříve používaná zařízení se liší především zdrojem a všechna zařízení jsou doplněna stabilizátorem oblouku a baterií kondenzátoru: [6; 8; 11]

- Zdroj proudu – usměrňovač, se síťovým transformátorem nebo invertor se strmou statickou charakteristikou.
- Řídicí jednotka – sestava prvků sloužící k ovládní svařovacího procesu. Řídí začátek a ukončení svařování, náběh na začátku a sestup proudu na konci procesu, různé proudy při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálu, pulzní jednotku nebo zapínání a přerušování proudu.
- Zapalovací jednotka – zajišťuje jiskrové bezkratové zapálení oblouku.
- Programátor – zaručuje nastavení předfuku a dofuku plynu v návaznosti na řídicí jednotku. Při mechanizovaném způsobu svařování řídí veškerý pohyb hořáku, v případě robotizovaného svařování je napojen na řídicí systém robota.
- Svařovací hořák – zabezpečuje vlastní svařovací proces.
- Chladicí jednotka – je důležitá pro cirkulaci vody v celém systému. Skládá se ze zásobníku vody, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru pro chlazení vody a propojovacích hadic.
- Zásobník ochranného plynu – spolu s redukčním ventilem zajišťuje požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem.



Obr. 12 Základní sestava zařízení pro svařování TIG stejnosměrným proudem [11].

1. Zdroj stejnosměrného (případně impulzního) proudu
2. Řídící jednotka svařovacího obvodu
3. Zapalovací jednotka
4. Programátor
5. Svařovací hořák
6. Chladicí jednotka
7. Redukční ventil
8. Zásobník plynu

2.1.1 Wolframové elektrody

Netavící se elektrody, které jsou využívány při svařování TIG jsou vyráběny ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení $3380\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotu varu $5700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vyrábějí se čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % Wolframu, nebo legované rovnoměrně rozptýlenými oxidy kovů, jako jsou thorium (Th), lanthan (La), zirkon (Zr) nebo ytrium (y). Přísady ovlivňují teplotu ohřevu elektrody tím, že ji snižují o $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zvyšují její životnost. Dále mají pozitivní efekt na zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Zvýšení emise elektronů je také možné dosáhnout snížením výstupní práce při uvolnění elektronů. Na delší životnost a vyšší proudovou zatížitelnost má pozitivní vliv také vysoká teplota tavení oxidů. V tabulce č. 1 je uveden přehled materiálu elektrod a jejich teplot tavení. [1; 2; 3; 11]

Tab. 1 Teplota tavení oxidů kovů, výstupní práce elektronů [19].

Materiál	Výstupní práce elektronů (eV)	Teplota tavení ($^{\circ}\text{C}$)
Wolfram	4,24 - 5,01	3380
Oxid thoričitý ThO_2	2,0 - 3,0	3300
Oxid lanthanitý La_2O_3	1,7 - 4,2	2300
Oxid zirkoničitý ZrO_2	-	2700
Oxid ceričitý CeO_2	1,8 - 2,6	2600
Oxid hafničitý HfO_2	-	2900
Oxid yttritý Y_2O_3	1,9 - 3,8	2700
Oxid wolframový WO_3	-	1473

Volbu typu elektrody ovlivňuje druh proudu a oblast použití, respektive typ základního materiálu. Elektrody jsou normalizovány dle ČSN EN ISO 6848, jejich složení a barevné označení je znázorněno v tabulce č. 2. Spotřeba netavící se elektrody při zatížení proudem se pohybuje okolo 4 mm za hodinu. Standardně vyráběné průměry elektrod se pohybují v rozmezí od 0,5 do 6,4 mm, co se týče délky nejčastější je 175 mm, vyrábějí se ale i elektrody s délkou 50, 75 a 150 mm. Značení elektrod se řídí několika zásadami, kterými jsou: [1; 2; 3; 11; 19; 20]

- První písmeno – vždy W, jako wolfram, který je základním prvkem elektrod.
- Druhé písmeno – charakterizuje přísadu oxidů, T – oxid thoričitý, Z – oxid zirkoničitý, L – oxid lantaničitý, C – oxid ceričitý.
- Druhé písmeno P – takové písmeno označuje elektrodu vyrobenou z čistého wolframu (P – pure).
- Číslo – při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů.

Tab. 2 Označení a složení wolframových elektrod [2; 3; 20].

Označení elektrody	Barva	Legování
WP	zelená	čistý wolfram 99,8%
WT10	žlutá	thorium 1 % ThO ₂
WT20	červená	thorium 2 % ThO ₂
WT30	fialová	thorium 3 % ThO ₂
WT40	oranžová	thorium 4 % ThO ₂
WC20	šedá	cerium 2,0 % ThO ₂
WL10	černá	lanthan 1,0 % LaO ₂
WL15	zlatá	lanthan 1,5 % LaO ₂
WL20	modrá	lanthan 2,0 % LaO ₂
WZ08	bílá	zirkon 0,8 % ZrO ₂
E3	fialová	vzácné zeminy

Elektrody dělíme dle chemického složení následovně: [1; 2; 3; 11; 19]

- WP – je čistá wolframová elektroda vhodná pro svařování slitin hliníku střídavým (AC) proudem. Vyznačuje se dobrou stabilitou oblouku. Pro svařování stejnosměrným (DC) proudem je však nevhodná.
- WT – přísadou oxidu thoria se zlepšují zapalovací vlastnosti, trvanlivost a proudová zatížitelnost. Hlavním použitím těchto elektrod je pro svařování vysoce legovaných a nerezových ocelí stejnosměrným proudem. Velkým negativem u WT elektrod je však radioaktivita thoria. Radioaktivní částice se usazují v plicích a mohou způsobit rakovinu. Z toho důvodu je důležité dodržení hygienických opatření. Je nutné odsávání při svařování a při broušení je nutno použití brusky se systémem broušení za mokra. Stále více jsou nahrazovány elektrodami s označením E3, které jsou dotovány vzácnými zeminami. Znamenají mnohem nižší zátěž pro životní prostředí i pro zdraví svářeče. Jsou použitelné v celém výkonovém rozsahu pro nelegované i nelegované ocele, a i pro slitiny. Mají výborné zapalovací vlastnosti, tudíž se hodí i pro automatizované procesy.
- WC – elektrody legované cerem jsou univerzální pro téměř všechna použití. Jsou vhodné pro svařování legovaných i nelegovaných ocelí, slitin hliníku, slitin titanu, niklu, mědi a hořčičků. Mají dobré zapalovací vlastnosti, trvanlivost a proudovou zatížitelnost.

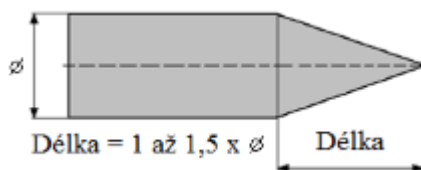
Ve společnosti BR se primárně využívají tyto elektrody, právě s ohledem na jejich univerzální vlastnosti a také fakt, že zatěžují méně životní prostředí a zdraví svářeče.

- WL – stejně jako WC jsou tyto elektrody univerzální pro téměř všechna použití. Oproti cerovaným elektrodám mají lanthanované výhodu v oblasti nízkých proudů, tudíž jsou vhodné při svařování plazmou a mikroplazmou. Vyšší podíl legury lanthanu zlepšuje zapalování, což je vhodné pro automatizované svařování – orbitální, robotické apod.
- WZ – zirkon minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Použití je hlavně pro střídavý proud, tedy pro svařování hliníkových materiálů.

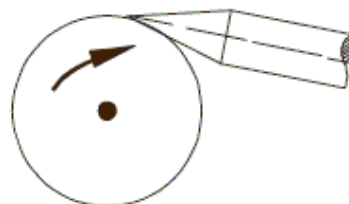


Obr. 13 Značení elektrod barevným páskem [3].

Elektrody musí být na jednom konci označeny min. 3 mm barevným páskem dle označení (obr. 13). Na druhém konci bez barevného označení se brousí do požadovaného tvaru. Samotné broušení wolframových elektrod má zásadní vliv na průběh svařování a kvalitu výsledného spoje. Průměr, druh a způsob broušení funkčního konce elektrody závisí především na druhu svařovacího proudu, polaritě elektrody při stejnosměrném proudu, velikosti svařovacího proudu v závislosti na základním materiálu a jeho tloušťce. Brousí se do špičky. Délka špičky má být asi 1 až 1,5násobek průměru wolframové elektrody (obrázek 14). Pro průměr 2,4 mm má být délka špičky asi 2,4 – 3,6 mm. Po broušení má být špička otupena tak, aby průměr otupení špičky byl cca 10 % průměru elektrody (elektroda o průměru 2,4 mm má mít otupení špičky cca 0,24 mm). Otupení má zásadní vliv na namáhání špičky a zřetelně prodlužuje životnost wolframové elektrody. [1; 2; 3; 11; 19; 21]

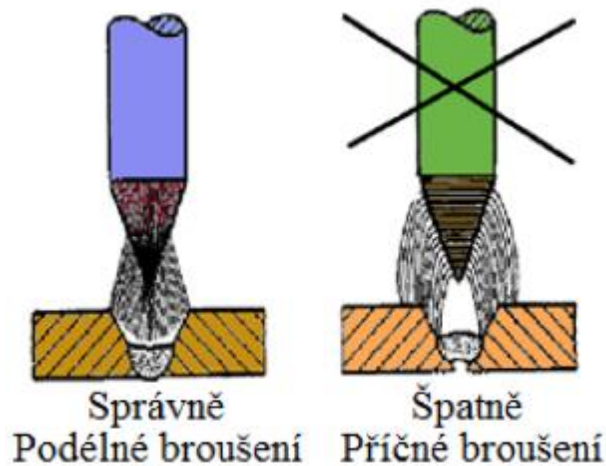


Obr. 14 Délka špičky k průměru elektrody [21].



Obr. 15 Správné podélné broušení elektrody [21].

Před broušením je nutné zkontrolovat, aby konec elektrody nebyl nalomen či nijak mechanicky poškozen. Mezní pevnost zrna elektrody je totiž menší než pevnost jednotlivých krystalů. Musí se brousit se zvýšenou opatrností, aby nedošlo k poškození hranic zrn mechanickou silou. Elektrody se mají brousit podélně tak, aby vrypy po broušení byly rovnoběžné s podélnou osou elektrody (obr. 15). Při příčném broušení způsobují rýhy nestabilní oblouk a hrozí vylamování částic wolframu, které se mohou dostat do svarové lázně (obr. 16) [1; 2; 3; 11; 21]



Obr. 16 Vliv broušení na oblouk [21].

Neméně důležitým faktorem u broušení je vystředění. Záleží na tom, aby špička byla skutečně v ose elektrody. Při excentricitě hrozí vznik nestabilního oblouku. Především to platí u automatizovaného svařování, přestože je elektroda fixována k materiálu, vadné vycentrování špičky může znamenat, že svařovací energie není přivedena na požadované místo. [1; 2; 3; 11; 19]

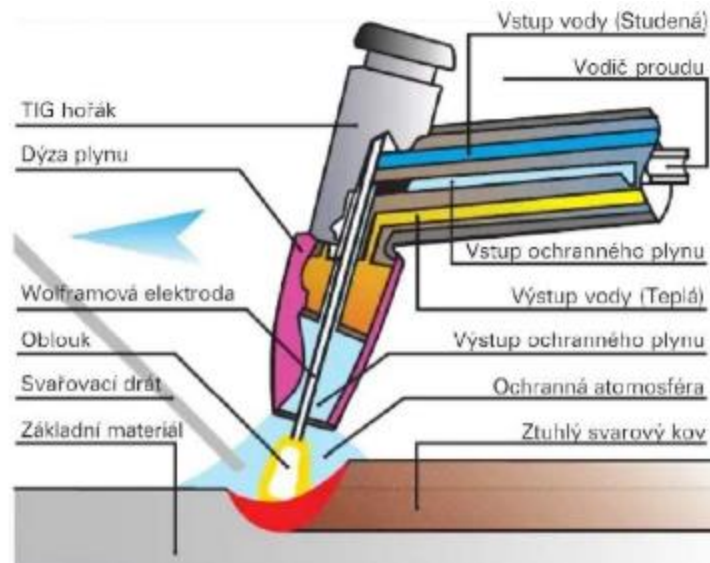
Pro broušení bývá využíván brusný kotouč s co nejjemnějším zrnem. Nejvhodnější je tedy diamantový kotouč. Platí, že čím jemnější broušení, tím je i životnost elektrody vyšší. Nejrozšířenějším způsobem je za použití speciálních ručních brusek, vhodných pro montážní práce, jelikož ji lze snadno přenášet. Ve společnosti BR je využívána stolní bruska ESAB G-Tech (obr. 17), která je vybavena speciálním systémem pro broušení za vlhka. Tento způsob je nejúčinnější ochranou před brusným prachem. [1; 2; 3; 11; 19]



Obr. 17 Bruska wolframových elektrod ESAB G-Tech.

2.1.2 Svařovací hořáky

Jedná se o nejzatíženější část svařovacích zařízení. Úkolem hořáku (viz obr. 18) je přívod elektrického oblouku k elektrodě, přívod ochranného plynu a jeho usměrnění, fixování polohy wolframové elektrody a v neposlední řadě přívod a odvod chladicí vody. 10 [6; 8; 11]



Obr. 18 Detail svařovacího hořáku [22].

Hořáky lze rozdělit na chlazené procházejícím plynem do cca 150 A a vodou chlazené hořáky do 350 až 500 A pro ruční, ale především strojní svařování. Nedílnou součástí hořáku jsou vyměnitelné kleštiny, zajišťující pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod. Další tepelně namáhanou součástí je plynová tryska (obr. 19), usměrňující proudění plynu do místa svařování. Nejčastější variantou jsou keramické trysky, používané pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem. Průměr plynové trysky je závislý na požadované ploše, kterou chceme chránit. V tabulce č. 3 jsou uvedené doporučené průměry trysek. [6; 8; 11; 19]



Obr. 19 Plynová tryska.

Tab. 3 Doporučené průměry plynových trysek [19].

Proudový rozsah (A)	Průměry plynové trysky (mm)
do 70	6 - 9
70 - 150	9 - 11
150 - 250	11 - 13
250 - 300	13 - 15
300 - 500	15 - 18

Pro kontrolu množství plynu na ochranné plynové trysce se používají trubkové průtokoměry (obr. 20) s kuličkou. Musí dojít k dokonalé ochraně proti účinkům, okolní atmosféry pomocí ochranného plynu, aby svarová lázeň nebyla kontaminována kyslíkem nebo dusíkem a zároveň wolframová elektroda byla chráněna proti oxidaci. Optimální průtok plynu závisí na těchto parametrech: [6; 8; 11]

- druh svařovaného materiálu,
- typ svarového spoje,
- hodnota proudu,
- velikost plynové trysky,
- úhel sklonu držáku,
- rychlost proudění okolního vzduchu,
- typ spoje,
- svařovací poloha.



Obr. 20 Kontrolní průtokoměr na svařecí hubice hořáků [23].



Obr. 21 Plynová čochka [24].

Pro zefektivnění plynové ochrany se často používají plynové čochky, tzv. sítka (obr. 21), které prodlužují laminární proudění plynu a usnadňují přístup k místu svařování. Použitím plynového sítka lze snížit množství ochranného plynu až o 50 % a zároveň vysunout elektrody na 15 až 20 mm. [6; 8; 11; 19]

Pro dosažení optimálního plynového prostředí pro zapálení oblouku je svařovací zařízení vybaveno funkcí předfuku plynu. Dochází ke zpoždění zapálení oblouku proti začátku proudění plynu o 2 až 5 sekund. Funkce dofuku pak zajišťuje ochlazování elektrody a svarového kovu, aby nedošlo k oxidaci. Po vypnutí proudu dochází k proudění ochranného plynu ještě 5 až 10 sekund. Hořáky jsou vybaveny spínačem elektrického proudu, umožňující dvoutaktní nebo čtyřtaktní funkci spínání. U nových moderních zdrojů hořáky lze využít funkci měnit svařovací proud plynule nebo skokově na předem nastavené hodnoty proudu. [6; 8; 11; 19]

2.1.3 Ochranné plyny

Pro svařování metodou 141 je volba ochranného plynu zásadní s ohledem na celkový výsledek svařovacího procesu. Jeho úkolem je ochrana netavicí se wolframové elektrody a svarové lázně před účinky okolní atmosféry, které jsou nežádoucí. Dále vytvoření vhodných podmínek pro zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku. Současně vytváří příznivé podmínky pro správný tvar a rozměry oblouku, průřez svaru, povrch svaru a pro přechod do základního materiálu. Používají se inertní plyny: [6; 8; 11; 19; 20]

- Argon – Nejčastěji využívaný plyn jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu. Je inertní a nevytváří se žádným prvkem chemické sloučeniny. Argon má malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Díky tomu se oblouk v argonu dobře zapaluje, je vysoce stabilní, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot. Hustota argonu je $1,784 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, čímž je cca 1,4krát těžší než vzduch. Má tedy dobré schopnosti plynové ochrany, hlavně v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu. Běžně se vyrábí a nabízí plyn o čistotě, která je označována 4.5, tzn. Čistotu 99,995 %. Argon lze využít jako ochranu pro všechny svařitelné materiály a jeho použití je nejčastější i z cenových důvodů.
- Helium – inertní, jednoatomový plyn, bez barvy a zápachu. Je vyráběn frakční destilací ze zemního plynu. Je velmi lehký plyn o hustotě $0,178 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, což značně snižuje jeho efektivitu plynové ochrany, proto je nutné zvýšit průtok pro ideální ochranu svaru. Vyrábí se s vysokou čistotou min. 99,996 %. Oproti argonu má podstatně vyšší tepelnou vodivost i ionizační potenciál, proto se oblouk špatně zapaluje a při větší délce hoření je nestabilní. Vzhledem k vyšší tepelné vodivosti se směsí s heliem pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí větších tlouštěk, především hliníku, mědi a jejich slitin.
- Směsí argonu a helia – tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Jsou v ní spojeny výhodné vlastnosti obou plynů. Pro svařování metodou TIG se používají tyto kombinace:
 - 70 % Ar + 30 % He
 - 50 % Ar + 50 % He
 - 30 % Ar + 70 % He

S rostoucím obsahem helia se zvyšuje napětí na oblouku i tepelný výkon, což má pozitivní vliv na tvar a rozměr svaru. Při uvedených směsích se zvyšuje rychlost svařování, hloubka závaru, nebo lze snížit přehřev kovů s vyšší tepelnou vodivostí. Používají se pro mědi a hliník ručním či strojním způsobem. Pro ostatní kovy se doporučuje mechanizované svařování větších tlouštěk.

- Směsí argonu a vodíku – podobně jako u směsí argonu s heliem tak i směsí argonu a vodíku mají vysokou tepelnou vodivost a tím i lepší energetickou bilanci vodíku. Přídavkem vodíku 5 až 10 % je lepší i čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Můžou se však použít jen pro vysoce legované austenitické a austeniticko-feritické Cr-Ni oceli,

nikl a jeho slitiny. Podílem 10 % vodíku je lepší tvar, hloubka závaru i rychlost svařování.

- Směsi argonu s dusíkem – podobně jako vodík je i dusík dvouatomový plyn, který má vyšší tepelnou vodivost, čímž přináší větší podíl tepla do svarové lázně. Běžně se používají s podílem 10 % a je využíván pro svařování mědi a její slitin.

2.1.4 Ruční svařování a stehování

Čistota je pro svařování nízkotlakého potrubí, která jsou součástí hydraulických agregátů zásadní. Primárně kvůli tomu, že součástí takového systému bývají velmi přesné ventily, čerpadla a další komponenty, které jsou náchylné vůči všem druhům nečistot. Stále velmi používanou metodou je technika ručního svařování TIG, především pro spojování vysokolegovaných ocelí a velké skupiny neželezných kovů. Používá se při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové a malosériové výrobě a tam, kde je potřeba svaru s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem, a právě vysokou čistotou. [6; 8; 11]

Ruční svařování charakterizuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu, vzhledem ke svarové lázni. Může připomínat svařování plamenem, kde místo tepla plamene se materiál taví teplem oblouku a pohyb hořáku a přídavného materiálu je klidnější. Při svařování je stěžejní, aby přídavný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranného plynu a nebyl kontaminován vzduchem. V případě kontaminace hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně. [6; 8; 11]

Metodou TIG lze svařovat ve všech polohách a zpravidla se svařuje dopředu. Při dopředném svařování se hořák pohybuje vlevo (u praváků), tyčka přídavného materiálu se posunuje před hořákem a je postupně podávána na okraj tavné lázně. Obluk formuje povrch svaru. Na začátku je poloha hořáku kolmá k příčné ose svaru, čímž se zajistí rovnoměrné natavení obou polovin svařovaného materiálu. Sklon hořáku je v podélné ose cca 10° vzad a úhel sklonu tyčky 60 až 80° vpřed od kolmice v místě hoření oblouku. Poloha hořáku i přídavného materiálu se mění dle typu svaru, polohy, směru svařování, složitosti a tvaru svařence, dostupnosti svaru atd. Předpokladem úspěšného svařování je příprava svarových ploch, která se řídí především tloušťkou a druhem svařovaných materiálů. Nejběžnějším tvarem úkosů pro svařování trubek je V svar, používají se však i U svary nebo jejich modifikace. [6; 8; 11]

Stehování je spojení svařovaných dílů krátkými svary. Připravený dílec může být následně svařován. Je potřeba dbát na stehování stejně jako na vlastní svařování, a i steh musí být proveden stejně kvalitně jako svar. Pokud nedojde k následnému odstranění stehovaného spoje, je třeba stehy provádět stejnou technologií jako svarový spoj. Při svařování nízkotlakého potrubí se stehování využívá poměrně často, jako forma přípravku, především proto, že jsou využívána rotační polohovadla. [6; 8; 11]

2.2 Materiály a jejich svařitelnost

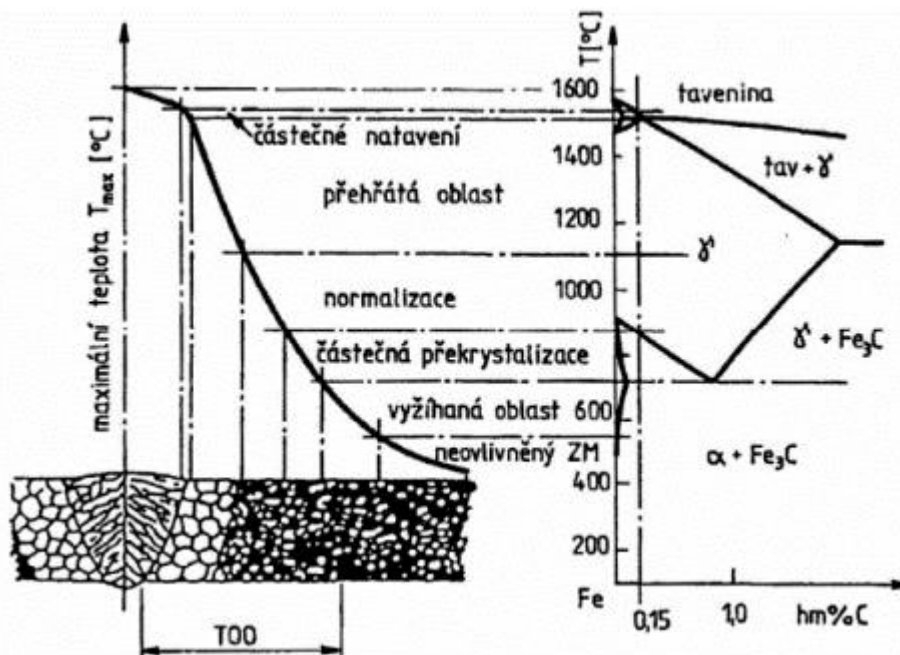
Svařitelností rozumíme technologickou vlastnost, jakožto komplexní charakteristiku materiálu vyjadřující vhodnost kovu pro požadované svařované spoje předepsané jakosti a konstrukční spolehlivosti. Svařitelnost jednotlivých materiálů a jejich slitin je velmi rozdílná a má na ni vliv hned několik následujících faktorů: [30; 32; 33; 36]

- chemické složení materiálu,
- návrh svaru,
- technologie svařování,
- svařovací proces,
- poloha svařování,
- prostředí,
- způsob namáhání svaru.

Dalším sledovaným parametrem u svařování je tzv. teplotní cyklus svařování (obr. 22). Označuje se jím průběh teploty ve svarovém spoji při jeho vytváření. Při svařovacím procesu dochází v krátké době k intenzivnímu místnímu ohřevu materiálu na vysoké teploty, vneseným teplem se nataví malý objem materiálu a v důsledku tepelné vodivosti se ohřívá i okolní oblast základního materiálu. V důsledku vysokých teplot a jejich změn v základním materiálu může dojít k těmto jevům: [30; 32; 33; 36]

- fázové přeměny,
- fyzikálně chemické reakce,
- změny struktury v oblasti svarového spoje,
- změny objemu způsobující vnitřní napětí a deformace ve svaru.

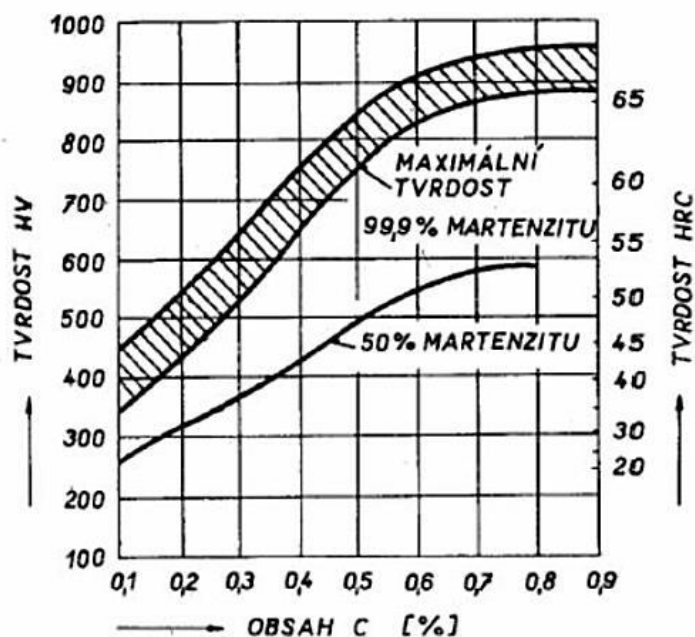
Rozsah uvedených změn závisí na výše uvedených faktorech a množství tepla vneseném do svarového spoje. Délka výdrže na kritické teplotě má vliv na strukturní změny, při kterých dochází k růstu zrn, následné ochlazení má potom vliv na polymorfni přeměny a difuzi vodíku. Křivky teplotních cyklů mohou být sestaveny experimentálně nebo je lze najít v tabulkách. Jejich tvar je závislý na technologii svařování, předehřevu, tepelném zpracování po ohřevu, místech měření, počtu navařených housenek apod. [30; 36]



Obr. 22 Vliv teplotního cyklu na strukturu svarového spoje [30].

2.2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí

Dle původních ČSN norem byly uhlíkové oceli rozdělovány do tříd 10, 11 a 12. Podle současné normy ČSN EN 10027-1 jsou řazeny podle mechanických a fyzikálních vlastností nebo podle chemického složení. Svařitelnost uhlíkových ocelí je ovlivněna především chemickým složením. Výrobci ocelí zpravidla udávají pouze obsahy C, Mn, Si, P a S. Největší vliv na svařitelnost má uhlík. S jeho rostoucím obsahem se zvyšuje náchylnost oceli k zakalení, kdy ve struktuře vzniká martenzit. Současně se zvyšuje náchylnost na vznik trhlin za studena, především v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) svarového spoje. S uhlíkem se sice zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, ale snižují se plastické vlastnosti. Závislost tvrdosti na obsahu strukturním obsahu martenzitu popisuje obr. 23. [35; 36; 46]



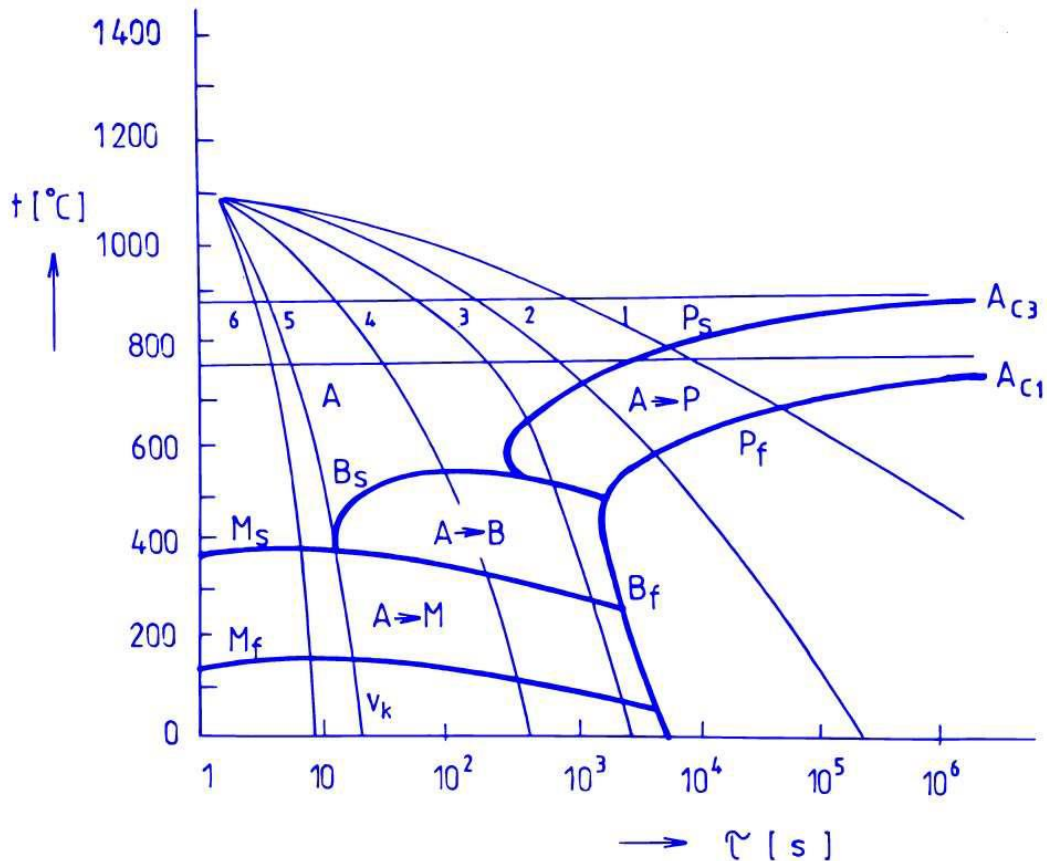
Obr. 23 Vliv martenzitu na tvrdost [36].

Z výše uvedených důvodů je omezen obsah uhlíku ve svařitelných ocelí na hodnotu 0,25 hm. % maximálně. Při dodržení této hodnoty není nutno použití předehřevu materiálu. Ocel s obsahem uhlíku vyšším než 0,25 hm. % jsou řazeny mezi podmíněně svařitelné. Jednou z podmínek pro zamezení trhlin po svařování je tedy aplikace předehřevu. Podle IIW (International Institute of Welding) se nedoporučuje předehřívát svarové spoje uhlíkových ocelí s mezí pevnosti do 700 MPa, při splnění následujících kritérií (tab. 4): [36]

Tab. 4 Přehled mezních tloušťek a uhlíkových ekvivalentů uhlíkových ocelí dle IIW [36].

tloušťka svaru s (mm)	obsah C (%)	C_{EIIW}
$s \leq 25$	$C \leq 0,22$	$C_{EIIW} \leq 0,45$
$s \leq 37$	$C \leq 0,22$	$C_{EIIW} \leq 0,41$

Účelem předehřevu je zpomalení rychlosti ochlazování a tím snížení nebezpečí zakalení viz obr. 24. Potřebnou výšku teploty předehřevu pro zamezení vzniku studených trhlin ovlivňují krom chemického složení oceli také obsah difúzního vodíku a tuhost konstrukce. Vzhledem k tomu je vhodné se o nutnosti předehřevu přesvědčit výpočtem podle rovnic. Krom svařování velkých tlouštěk materiálů nebývá nutné použití dohřevu. Teplota interpass je vždy jedním z klíčových parametrů, který je stanoven a je nutné ho dodržovat u svařování jakýchkoliv materiálů. [30; 36]



Obr. 24 Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ARA) [36].

Svařování s vysokým tepelným příkonem má podobný účinek jako předehřev. Dochází k pomalejšímu ochlazování, protože je více ohříváno okolí svaru. K tomuto účelu je využíváno větších průměrů přídavných materiálů, nebo se volí technologie, která větší tepelný příkon umožňuje. Teplotu předehřevu lze stanovit výpočtem dle normy ČSN EN 1011-2, nebo dle metody Ita a Bessya, či Séferiána. Obecně se lze orientovat dle následující tabulky č. 5: [30; 47]

Tab. 5 Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku [30].

Obsah uhlíku v hm. %	Teplota předehřevu ve °C
0,20 až 0,30	100 až 150
0,30 až 0,45	150 až 275
0,45 až 0,80	275 až 425

Jedním z parametrů pro posouzení komplexní charakteristiky ocelí pro dané součásti je určení tzv. ekvivalentního obsahu uhlíku C_e . Pomocí něj lze informativně stanovit svařitelnost nelegovaných, nízkolegovaných a středně legovaných ocelí a ocelí na odlitky. Oceli s obsahem uhlíku menším než 0,22 hm. % C lze svařovat bez zvláštních opatření, přičemž ekvivalentní obsah uhlíku $C_e \leq 0,50$ je počítán dle rovnice: [34; 35]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024t \quad [\text{hm. \%}] \quad (2.1)$$

t... tloušťka plechu (mm)

Pro tuto rovnici platí následující rozmezí obsahů prvků – C = 0,22 hm. %, Mn = 1,6 hm. %, Cr = 1 hm. %, Ni = 3,0 hm. %, V = 0,14 hm. %, Cu = 0,3 hm. %.

Norma ČSN EN 1011-2 v současné době doporučuje pro výpočet uhlíkového ekvivalentu dva vzorce (metody A, B) navržené mezinárodním svářečským institutem IIW/IIS: [34; 35; 47]

- Metoda A – pro oceli s obsahem C > 0,18 hm. %:

$$C_e(IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\text{hm. \%}] \quad (2.2)$$

Není-li hodnota uhlíkového ekvivalentu vyšší než 0,45 % pro tloušťku plechu 4 mm (0,4 % pro tloušťku 6,5 mm, 0,35 % pro 25 mm, 0,3 % pro 50 mm), lze svařovat takovou ocel bez předehřevu.

- Metoda B – Dnes asi nejpoužívanější vzorec pro zjištění uhlíkového ekvivalentu.

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+C}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [\text{hm. \%}] \quad (2.3)$$

Důležité je opět rozmezí obsahů prvků, pro které výpočet platí viz tabulka 6.

Tab. 6 Obsah prvků v hm. %.

Prvky	Metoda A (hm. %)	Metoda B (hm. %)
C	0,05 až 0,25	0,05 až 0,25
Si	max 0,8	max 0,8
Mn	max 1,70	0,50 až 1,90
Cr	max 0,90	max 0,70
Mo	max 0,75	max 0,75
Nb	-	max 0,06
Ni	max 2,50	max 2,50
Ti	-	max 0,12
V	max 0,20	max 0,18
B	-	max 0,005
Cu	max 1,00	max 0,07

U metody A se při výpočtu bere v potaz primárně množství slitinových prvků, naopak u metody B je u výpočtu CET zohledněn především obsah uhlíku. Výsledky výpočtu ekvivalentu jsou u jednotlivých metod rozdílné. Musí se při porovnání hodnot různých materiálů vždy použít shodná metoda.

Na mechanické vlastnosti a svařitelnost uhlíkových ocelí mají vliv následující prvky: [35]

- Uhlík – je přítomen ve všech ocelích a má zásadní vliv na její vlastnosti, respektive její svařitelnost. Se zvýšeným obsahem uhlíku v oceli dochází ke snížení plastických vlastností (kontrakce, tažnost). Dochází však ke zvýšení pevnostních vlastností (mez kluzu, mez pevnosti). Jak je již uvedeno, kvůli rostoucímu obsahu uhlíku roste i tvrdost martenzitické struktury. Ta vzniká při ochlazení a je nežádoucí. Obsah uhlíku je tedy omezen na 0,25 hm %, jelikož při tomto obsahu se v TOO dosáhne 50% martenzitické struktury o tvrdosti 350 HV. V případě překročení stanovené meze uhlíku, je potřeba do procesu zahrnout i přehřev a tepelné zpracování.
- Křemík – v nelegovaných ocelích zvyšuje pevnost a tvrdost. Je to dezoxidační prvek. Ocel je neuklidněná při nedostatku křemíku (pod 0,1 hm %), horní hranicí je pak 0,45 hm %.
- Mangan – zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti. Působí jako dezoxidační prvek a společně s křemíkem je používán k výrobě uklidněných ocelí. Obvykle je u nelegovaných uhlíkových ocelí obsažen 0,3 až 1,7 hm %.
- Fosfor – zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti a má pozitivní vliv na odolnost proti atmosférické korozi, především ve spojení s mědí. Jeho přítomnost snižuje plasticitu ocelí. Zhoršuje tváritelnost a způsobuje zkřehnutí za studena. Proto je jeho obsah omezen na max. 0,03 hm %.
- Dusík – jeho maximální rozpustnost je při teplotě 1600 °C a obsahu 0,04 až 0,05 hm %. Jeho snížení lze dosáhnout přidáním legujících prvků s velkou afinitou vůči němu (hliník, titan). Je stejně jako uhlík austenitotvorný a jeho přítomnost rozšiřuje pole γ .
- Síra – dostává se do ocelí z rud a paliva. Někdy je přidávána záměrně, kvůli lepší obrobiteľnosti. Železo a sulfid železitý tvoří nízkotavitelné eutektikum, u kteréhož se bod tavení posunuje k nižším teplotám. Při svařování, či tváření za tepla proto dochází k natavení eutektika na hranicích zrn a dochází tím k porušování materiálu (mezikrystalické trhliny). Při vyšším obsahu síry je nežádoucí přítomnost manganu, se kterým tvoří sulfidy. Maximální obsah síry má být do 0,3 hm %.
- Vodík – je nežádoucí příměs, dostává se do oceli rozkladem vzdušné vlhkosti při tavení jak při samotné výrobě, tak při svařování. Buď je v kovu rozpuštěn nebo produkuje hydridy. Podílí se na tvorbě póru ve svarovém kovu, na oduhličnění a vzniku „rybích ok“. Dále souvisí s tvorbou prasklin a celkovým zkřehnutím svarového kovu a TOO. Přítomnost vodíku při tavném svařování způsobuje:
 - vlhkost na povrchu základního a přídavného materiálu
 - vlhkost v obalu elektrod a v tavidlech
 - zbytky maziv po tažení na povrchu přídavných materiálů
 - vlhkost a vodík v ochranných plynech
 - vodík již obsažený v základním materiálu
- Hliník – má denitridační a desoxidační účinek. Nitridy a oxidy hliníku působí jako krystalizační zárodky při tuhnutí oceli. Uklidněné oceli by měli obsahovat minimálně 0,02 hm %.
- Měď – do uhlíkových nelegovaných ocelí se dostává běžně použitím šrotu s určitým obsahem mědi. Považuje se za neškodný do 0,26 hm %.

2.2.2 Vlastnosti a svařitelnost austenitických korozivzdorných ocelí

Austenitické korozivzdorné chromové oceli jsou zařazeny do skupiny 8 (korozivzdorná ocel dle ISO 15608). Oceli obsahují minimálně 16,5 hm % Cr a jsou doplněny o množství Ni a Mn k dosažení austenitické struktury. Dalšími prvky k dosažení požadovaných vlastností mohou být Mo, Ti, Nb, Cu, Si. Strukturu austenitických ocelí lze předběžně určit pomocí výpočtů Cr a Ni ekvivalentů a následným znázorněním v Schaefflerově, Delongově či W.R.C. diagramech. [28; 29; 30; 31; 42]

Cr-Ni oceli jsou specifické tím, že jejich struktura je tvořena převážně austenitem fáze γ doplněným také o δ ferit. Pro dosažení austenitické struktury oceli je nutné, aby ocel obsahovala správný poměr austenitotvorných a feritotvorných prvků. To umožňuje udržet austenitickou strukturu při normálních, zvýšených i záporných teplotách. Základním druhem je chrom-niklová austenitická ocel s 18 hm % chromu a 9 hm % niklu. Nepodléhají fázovým přeměnám a jsou nemagnetické. Pevnost lze zvýšit pouze legováním (přísadou dusíku) nebo u ocelí s menší stabilitou austenitu tvářením za studena (pěchování, tažení). Dojde-li po tepelném zpracování nebo po svařování k pomalému ochlazení, dochází v oblasti kritických teplot v rozmezí 600 – 800 °C k vylučování karbidů po hranicích zrn. [28; 29; 30; 31; 36]

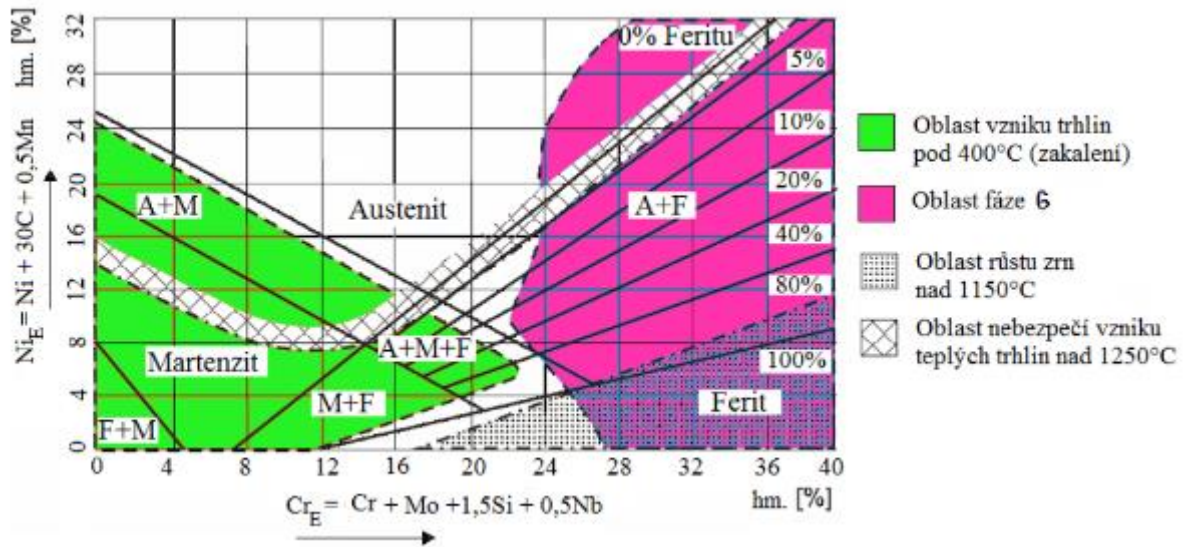
Austenitické oceli zpravidla obsahují uhlíku méně než 0,1 %, 16 až 22 % chromu, 8 až 40 % niklu, 0 až 5 % molybdenu. Mají dobrou tažnost, houževnatost a velmi dobrou svařitelnost. Rozdělují se do tří základních skupin: [30; 31; 32; 36]

- Chrom manganové – složení prvků: 0,02 – 0,08 % C, 10 – 18 % Cr, 3 – 8 % Ni, 14 – 25 % Mn. Drahý nikl je u těchto ocelí nahrazen manganem a dusíkem. Mangan a nikl mají podobné vlastnosti až na houževnatost, tvárnost a svařitelnost, které má mangan nižší. Zároveň mají tyto oceli menší odolnost proti korozi než oceli Cr-Ni.
- Chrom mangan-niklové – složení prvků: 0,02 – 0,15 % C, 12 – 22 % Cr, 5 – 12 % Mn a 3 – 8 % Ni.
- Chrom niklové – složení prvků: 0,01 – 0,15 % C, 12 – 25 % Cr, 8 – 35 % Ni. Jedná se o austenitickou nestabilizovanou ocel. Nikl stabilizuje austenit i za normálních teplot. Mají vysokou tažnost i houževnatost a jsou nemagnetické.

Pro posouzení výsledné struktury korozivzdorné chrom-niklové oceli se používá Schaefflerova a De Longova diagramu. Schaefflerův diagram umožňuje posoudit, jaké strukturní změny vyvolává například zředění svarového kovu základním materiálem a jaké změny je možné očekávat při svařování. Jedná se o binární diagram. Graficky znázorňuje vlivy feritotvorných prvků skrze chromový (%Cr_E) ekvivalent a vliv austenitotvorných prvků niklovým ekvivalentem (%Ni_E) na výslednou strukturu oceli. Hodnoty chromových a niklových ekvivalentů jsou spočítány podle vztahů: [30; 31; 32; 36]

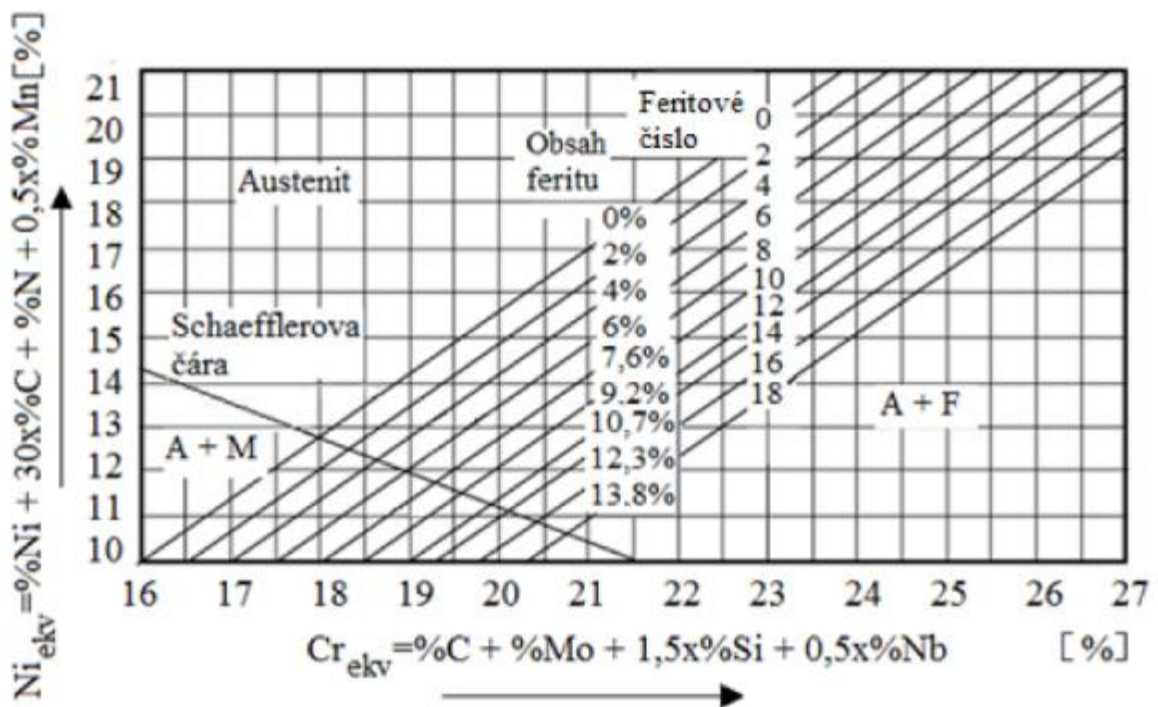
$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [\%] \quad (4)$$

$$Ni_E = Ni + 30 \cdot C + 0,5 \cdot Mn \quad [\%] \quad (5)$$



Obr. 25 Schaefflerův diagram [36].

Pro odhad výsledné mikrostruktury svarového kovu Cr-Ni austenitické oceli s nízkým obsahem dusíku se používá Schaefflerův strukturní diagram Cr – Ni (viz obr. 25) Dalším diagramem, který lze použít pro odhad výsledné mikrostruktury austenitické chrom niklové oceli je diagram De Longův (obr. 26), který upřesňuje Schaefflerův diagram. S velmi dobrou přesností určuje mikrostruktury oceli s obsahem feritu do 15 %. Naopak není vhodný pro určování mikrostruktur ocelí s vysokým obsahem manganu. [36]



Obr. 26 De Longův diagram [36].

Austenitické oceli mají proti feritickým ocelím asi o 50 % větší tepelnou roztažnost a přibližně o 30 % nižší tepelnou vodivost. Zejména se to projevuje při svařování vznikem větších deformací a napětí v porovnání s feritickou ocelí. Svařitelnost austenitických Cr-Ni ocelí je ovlivněna těmito nežádoucími faktory: [30; 31; 32; 36]

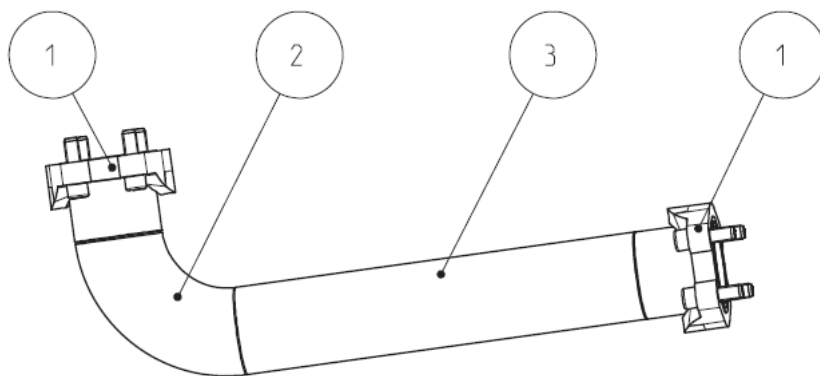
- Precipitace karbidů chromu – důsledkem tohoto jevu je mezikrystalová koroze.
- Výskyt krystalizačních trhlin za tepla – můžou vznikat při tuhnutí svarového kovu a pouze v něm. Naopak likvační a polygonizační trhliny mohou vznikat na rozhraní svarového spoje a v tepelně ovlivněné oblasti. Příčinou vzniku teplých trhlin bývají prvky jako síra, fosfor, křemík či titan. Tyto prvky při tuhnutí snižují plasticitu kovu v mezidendritických prostorách nebo vytváří se železem a niklem nízkotavitelná eutektika, snižující technologickou pevnost hranic zrn. Nejvýraznějším faktorem pro snížení náchylnosti k tvorbě teplých trhlin je obsah δ feritu. Pokud je ho v oceli vyšší obsah jak 15 FN (Feritové číslo), vede to ke snížení antikoročních vlastností a zároveň podporuje vznik fáze sigma (σ).
- Zkřehnutí vlivem fáze sigma (σ) – jedná se o velmi tvrdou, křehkou intermetalickou sloučeninu. Je příčinou zkřehnutí ocelí s obsahem chromu, a tedy i austenitických ocelí. Její vznik je možný ve svarových spojích při teplotě 550 – 820 °C. Je stabilní do teploty 820 °C a při překročení této teploty přibližně při 825 °C se mění na fázi alfa (α).

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Pro praktickou část této práce bylo zvoleno hned několik oblastí výroby, na které je nutné se zaměřit, popsat je a u některých z nich je potřeba zpracovat návrhy pro optimalizaci i s ohledem na realizaci těchto návrhů. Patří sem například investice do rozšíření a vybavení svařovny, zefektivnění toku materiálu, přesné popsání technologického postupu při výrobě trubkových sad, nebo také činnost jednotlivých oddělení v různých fázích výroby, od získání zakázky až po konečnou fázi, kdy je možno trubkovou sadu namontovat na agregát.

Pro přehlednost bylo stanoveno několik bodů, kterých se bude praktická část týkat a řídit se jich. Jednotlivé fáze je potřeba vyhodnotit a případně navrhnout krok k jejich optimalizaci. Jsou to:

- Svařovna – její přesunutí, rozšíření a layout.
- Tok materiálu – označení skladových a meziskladových ploch, využití kardexu.
- Odpovědnostní matice – zpracování tzv. procesní mapy, která popisuje zodpovědnosti a kroky jednotlivých oddělení během různých fází výroby.
- Svařovací plány – jejich tvorba, zefektivnění.
- Technologický postup – popsání jednotlivých kroků při přípravě dílců ke svařování a samotném svařování.
- Vytvoření interní normy – měření času svařování. Důležité pro kalkulaci zakázky.
- Proces NDT.



Obr. 27 Zvolená součást pro vzorový svařovací plán.

Experimentální část se tedy zabývá komplexní problematikou při výrobě nízkotlakých potrubních sad. Pro příklad tvorby svařovacího plánu byla zvolena jedna součást z konkrétní trubkové sady (obr. 27), obsahující 3 svary. Pro měření času výroby a pro ověření vhodného výběru postupu svařování byly zvoleny nejčastější rozměry trubek, které jsou využívány při výrobě potrubí. Tímto potrubím proudí převážně hydraulický olej. Svařování kontrolních trubek zároveň slouží pro popsání technologického postupu a pro měření času svařování, což je využito při tvorbě časové normy pro svařování.

3.1 Zhodnocení současného stavu výroby

Současný stav při výrobě hydraulického potrubí v brněnském závodě BR má daná specifika a podílí se na něm několik oddělení. Při seznamování se s těmito jednotlivými fázemi vyvstaly některé problémy, které je nutné následně řešit operativně až při samotné výrobě. Prvotní problém je již se samotnou cenovou kalkulací zakázky. Již v době, kdy se nevyroběla celá trubková sada, nýbrž byly zhotovovány pouze montážní svary, docházelo ke značnému podhodnocení kalkulací. Především pak k časové dotaci pro danou zakázku. Cena se odvíjí od časové dotace. První odhad ceny však je zhotoven ještě před zhotovením samotné konstrukce. V této kalkulaci tedy chybí přesnější odhad, který by byl například vytyčen jen pro zhotovení svarů a tento odhad pak má poměrně velký vliv na finální cenu zakázky.

Další fází je konstrukce agregátu. Oddělení konstrukce a designu je odpovědné za tvorbu výrobní dokumentace pro konstrukci nádrže a potrubních sad. Jednou zvláštností, kterou se vykazují výrobní výkresy je skutečnost, že výkresy svařovaných konstrukcí zpravidla neobsahují informace o svarech, respektive značení svarů. Výjimku tvoří trubkové sady, u kterých konstruktér ví, že z důvodu namontování na agregát je potřeba zhotovit montážní svary. S tímto trendem se počítá i při výrobě v brněnském závodě, je však jasné, že je potřeba svařovacího technologa, který na základě výrobních výkresů zhotoví svařovací plány.

Při současné produkci tedy výrobní výkresy obdrží dodavatel a vytvoří pro své potřeby svařovací plány. Následně zhotoví dokumentaci, potřebnou pro dodání do společnosti BR. Součástí této dokumentace je: [45]

- Checklist pro výstupní kontrolu zboží – dokument požadovaný po dodavatelích. Nese informaci o výstupní kontrole dodavatele, kompletnosti dodávky atd.
- Seznam dokumentů k předávané trubkové sadě.
- Inspekční certifikát 3.1 dle EN 10204 pro použité šarže potrubí.
- Záznam o RT zkoušce k použitým trubkovým dílcům.
- Záznam o PT zkoušce svaru – nebývá standardem, může být proveden na speciální požadavek zákazníka.
- Protokol o VT zkoušce – VT kontrola je požadována ke 100 % zhotoveným svarům.



Obr. 28 Dodaná trubková sada s přiloženou dokumentací.

Již projektant na oddělení konstrukce přiřadí trubkové sadě materiálové číslo (ident), který je uveden na výrobním výkrese sady a zároveň je zpracováván pod tímto číslem v systému SAP. Pracovník logistiky, který má na starosti příjem zboží zanele informaci o příjmu dodávané trubkové sady (obr. 28) do SAP. To znamená spuštění dalších kroků a nutných úkonů.

Dalším z nutných operací je tzv. vstupní kontrola, kterou má na starosti pracovník oddělení kvality. Provede 100% vstupní kontrolu, což znamená ověření kompletnosti dodávky, a kompletnosti přiložené dokumentace. V případě trubkových sad paletu označí a bude provedena namátková vizuální kontrola 10 % svarů, jakmile bude trubková sada navedena k montáži. To z důvodu, že vnitřek potrubí je nakonzervován a je možné, že celá paleta bude stále umístěna mimo výrobní prostory, tudíž je zabráněné zbytečné oxidaci povrchu svarů i samotného potrubí.

Kontrolor kvality dále odebere již výše zmíněnou dokumentaci a založí ji do elektronické databáze certifikátů. Dokumentace v papírové podobě je ukládána do archivu dokumentace. Po dokončení montáže a při zhotovení dokumentace tyto certifikáty vyzvedává administrativní pracovník oddělení projekce, aby byly veškeré dokumenty dodány s výrobkem.

Takto přijatá a zkontrolovaná sada může být nyní vyskladněna na zakázku. Tuto operaci vykonává prostřednictvím SAP koordinátor výroby, který má přidělenou zakázku, které je daná trubková sada součástí. Pracovníci logistiky tedy převezou paletu do výrobní haly na místo, kde je prováděna montáž hydraulického agregátu. Následně s trubkami operují pracovníci montáže. Pokud na trubkové sadě není potřeba montážních svarů, mohou kontinuálně dané dílce montovat na agregát. V opačném případě je nutné informovat svářeče o nutnosti zhotovení svarů.



Obr. 29 Příprava montážního svaru na agregátu.

Před zhotovením svarů je trubka požadující montážní svar namontována na agregát k příslušným komponentám. Dojde k vyměření, aby bylo možné trubky upravit na požadovanou délku a zároveň k nastehování dvou částí trubek k sobě (obr. 29). Montážní technik tedy odmontuje trubku, zkrátí na potřebný rozměr a přesune dílce ke svařovně. Zde dochází k rozporu toho, kdo má mít na starost přípravu dílce ke svaření. To z důvodu odpisu hodin při výrobě zakázky. Zjednodušeně řečeno jde o to, zda hodiny potřebné pro toto vyměření a přípravu pro svařování se zapisují jako montážní hodiny, nebo jako hodiny vymezené pro svařování.

Po ukončení svařování je zkontaktován pracovník oddělení kvality, aby došlo k vizuální kontrole zhotovených svarů. Je zhotoven protokol o vizuální kontrole o vyhovujícím stavu všech svarů. V případě vady je upozorněn svářeč a spoj je nutné opravit.

Následně je možné trubky přesunout k lakovně, kde budou nalakovány (obr. 30). U součástí, kde je nutné zhotovit montážní svar je ponecháno zpravidla několik centimetrů nenalakovaných trubek již od dodavatele. Po lakování je možné potrubí již namontovat na agregát a tím prakticky končí výroba svařovaných potrubí a zbývá pouze montáž a zkoušky.



Obr. 30 Svařená trubková sada nachystaná k lakování.

Současný stav nelze označit vyloženě za nevyhovující. Zásadní motivací pro svařování kompletního nízkotlakého potrubí ve výrobě BR byly stále více se vyskytující problémy s dodacími termíny dodavatelů a jejich cena. Analýzou bylo zjištěno, že předvařené trubkové sady se jeví jako finančně nevýhodné. Na trubkových sadách se vyskytují montážní svary, které musí být provedeny za stejných podmínek jako svary již provedené dodavatelem. Proto vznikl návrh, kdy výroba BR bude zajišťovat veškerou produkci svarů u nízkotlakého potrubí. S ohledem na zvýšení produkce je potřeba implementovat některá opatření, aby byla zajištěna plynulá produkce trubkových sad. Zjednodušeně řečeno primárním cílem je nastavení jednotlivých podprocesů svařování. Vedení výroby společnosti počítá až se 100% výrobou potrubí. Výroba bude mít některé limity, jako například kapacitní omezení svařovny, s čímž souvisí velikost daných zakázek. Dále je důležitá specifikace kvalifikací svářečů i samotné firmy. Specifikace limitují, které trubky (jejich průměry a tloušťky) mohou být svařovány ve výrobě BR. Nadále se počítá s tím, že z těchto důvodů se může stát, že bude potřeba využít kooperace s dodavateli. Dalším faktorem mohou být speciální požadavky zákazníka ať už na použitý materiál nebo na testování.

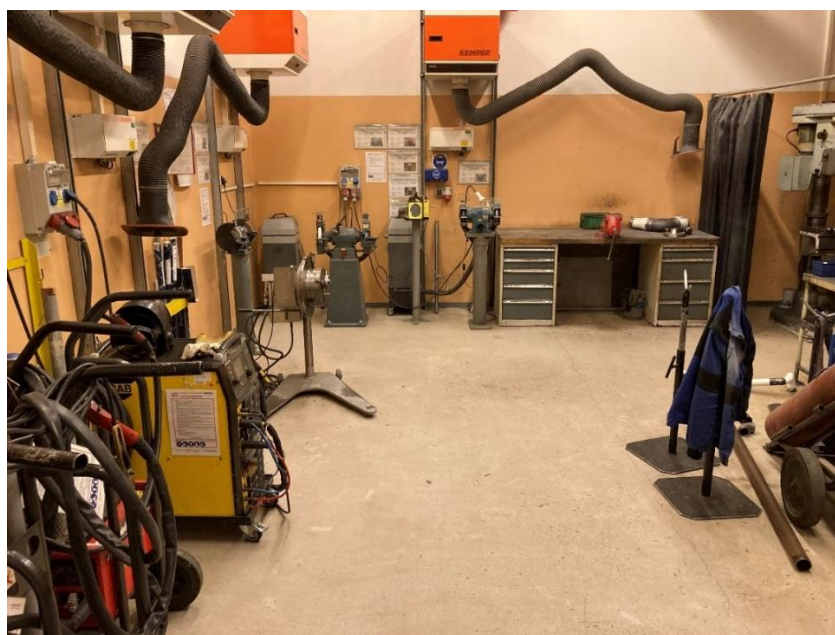
3.1.1 Nový layout a rozšíření svařovny

Součástí celého projektu zavedení výroby nízkotlakého potrubí jsou i nemalé investice. V těchto investicích bylo zahrnuto i přemístění a dovybavení svařovny. V souvislosti s tím byl předložen návrh na její přesun a rozšíření v rámci projektu Optimalizace 5S, kdy došlo k úpravě jednotlivých montážních pracovišť napříč výrobní halou BR.



Obr. 31 Bývalá velká svařovna.

Dříve se vyskytovaly ve výrobní hale dvě svařovny – „velká“ a „malá“, viz obrázky 31 a 32. Umístění staré svařovny lze vidět v příloze č. 1 (Starý layout výrobní haly). Prvním návrhem pro optimalizaci při výrobě trubkových sad je úprava na jednu svařovnu, kde by probíhala výroba trubkových sad a zároveň tzv. přípravnu, kde by se zajišťovala příprava dílců ke svaření. Proto bylo nezbytné již původní velkou svařovnu přemístit a naplánovat její rozšíření. Jak lze vidět na obrázku 31, bývalá velká svařovna disponovala velkým pracovním stolem a jedním polohovadlem. Na základě posouzení situace bylo nutné svařovnu dovybavit výrobními zařízeními. Její umístění v rámci nového layoutu je znázorněno v příloze č. 2 (Nový layout výrobní haly). Bylo nutné vypracovat detail vybavení svařovny, které bude přesně popisovat rozložení vybavení a následně i skladových ploch.



Obr. 32 Bývalá malá svařovna.

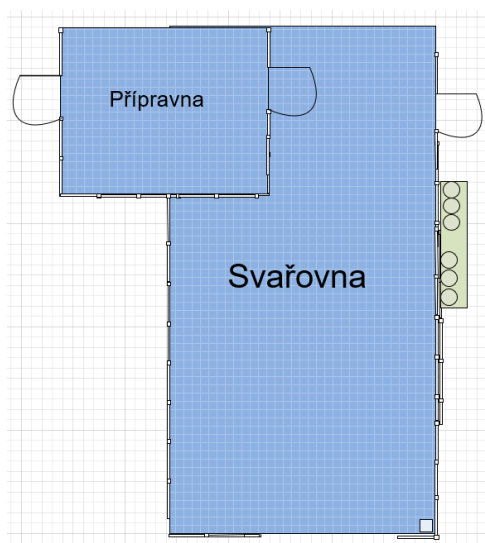
Na obrázku 33 je vidět tzv. malá svařovna, která rovněž disponovala svářečským vybavením, jako například bruskou na elektrody, svářečky, menší polohovadlo a odsávačky par. Tato svařovna bude zrušena a bude sloužit jako obrobna. Budou v ní umístěny stolní vrtačky či soustruhy.



Obr. 33 Stará přípravná.

Důvodem pro přesun a úpravu na větší svařovnu, která má oddělený prostor pro přípravu je zjednodušení manipulace s materiálem při jeho přípravě. Krom toho, dosavadní příprava dílců pro svařování probíhala v přípravně, umístěné v oblasti, kde probíhalo balení agregátů. Zde docházelo k úkosování a ručnímu upravování potrubí ke svařování. Docházelo tak k rozptylu prachových částic po výrobě. Při samotné montáži, a i při balení agregátů je nutná absolutní čistota. Z toho důvodu umístění staré přípravny bylo nevhodné. Přípravná bude zahrnuta v nové rozšířené verzi svařovny.

Nově zbudovaná svařovna je tedy rozdělena na hlavní prostor, který je využit k samotnému svařování dílců a na menší přípravnu viz obrázky 34 a 35, která je využívána pro úkosování a ruční opracování ploch ke svaření.



Obr. 34 Schéma přípravny a svařovny.



Obr. 35 Foto nové přípravny umístěné ve svařovně.

Současná svařovna obr. 36 disponuje větším prostorem pro samotné vybavení a zároveň nový layout počítá s odkládacími plochami pro nesvařené a pro již svařené součásti. Je zabudován i jeřáb s nosností 1000 kg a ramenem dlouhým 7 m pro manipulaci s dlouhým potrubím. K veškerému vybavení je nutné vést evidenci v podobě karty stroje, která obsahuje záznam o údržbě a poruchách stroje. Krom zařízení je zde umístěn i pomocný materiál. Svařovna disponuje například následujícím vybavením:

- svařovací zařízení Tig Fronius Magicwave,
- svařovací zařízení Tig Fronius Trans Tig 25,
- polohovadlo pro svařování ESAB – 250 AHMA,
- polohovadlo pro svařování PEMA APSi 750,
- bruska wolframových elektrod ESAB,
- stojanová dvoukotoučová bruska GSM 200.



Obr. 36 Foto nové svařovny.

Nově zavedené umístění a vybavení svařovny bylo diskutováno se svářeči a vyhodnoceno jako dostačující a vyhovující. Co se týče pomocného materiálu, je zde umístěn například regál s přípravky viz obrázek 37 (zaslepovací příruby navařené na trubky). Tyto příruby jsou nastehovány na trubku a plní funkci zaslepení pro zabránění úniku formovacího plynu. Za tento přípravek jsou následně svařované díly upnuty do rotačního polohovadla. Svářeči pouze upozornili na fakt, že se častěji objevují trubky větších rozměrů, s čímž souvisí také jejich velká hmotnost. Příruby se proto ohýbaly a bylo nemožné jich opakovaně použít. Svářeči by potřebovali zmíněný přípravek vyrobit z plechů větší tloušťky pro zamezení ohnutí v případě nastehování na těžší dílce. Požadavku bylo vyhověno a oddělení konstrukce a nákupu zajistí dodání nových zaslepovacích přírub, které si svářeči následně přivaří k trubkám.



Obr. 37 Přípravek pro zabránění úniku formovacího plynu.

3.1.2 Tok materiálu a jeho uskladnění

V současné době není tok materiálu v podobě trubkových sad nijak popsán, protože se v drtivé většině jedná o dodávané části již svařeného potrubí. V praxi to znamená, že po příjmu a po vyskladnění na zakázku, pracovníci logistiky přesunou palety s kompletně i částečně svařenými dílci k oblasti, kde se montuje konkrétní zakázka. Pokud je potřeba montážních svarů, jak je již popsáno v podkapitole 3.1, montážní technici přesunují materiál buď pomocí paletových vozíků, nebo v případě velkých trubek pomocí mostových jeřábů ke svařovně. Pro uskladnění potrubí o standardních rozměrech je pak využíváno regálů (obr. 38), který je v současné době umístěn v blízkosti svařovny.

Již z obrázku 38 je patrné, že tento způsob skladování bude po zavedení výroby trubkových sad nevyhovující kvůli ztížené manipulaci při jeho odebírání. Při větším objemu zakázek by to znamenalo zbytečnou ztrátu času způsobenou složitou manipulací s materiálem. Součástí trubkových sad však nejsou pouze trubky, nýbrž i velké množství přírub, kolen, redukci atd. Proto bylo nutné vymyslet systém, který by byl vyhovující pro plynulý tok materiálu výrobou a zároveň zajišťoval vhodnou manipulaci s danými typy dílců. Ve výrobě BR musí být každý materiál označen, aby byly dodrženy principy sledovatelnosti materiálu.



Obr. 39 Současný regál pro uložení trubek.

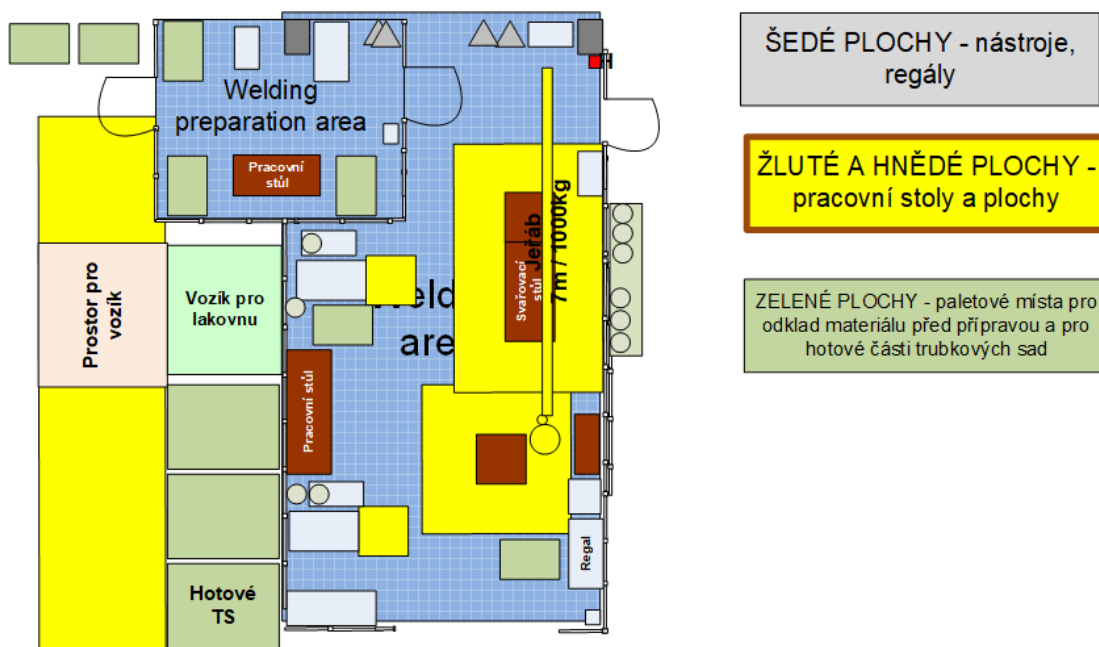


Obr. 38 Kardex pro uložení trubek.

Firma již v současné době disponuje kardexem pro uložení menších dílců. Kardex je systém automatického skladování pro rychlý transport uložených dílů a komponent. Jedná se o paletový systém, který umožňuje zvýšení efektivity při vychystání jednotlivých položek. V tomto kardexu je možné skladovat například přírubby, kolena, redukce. V případě větších rozměrů by se takové dílce objednávaly dle kusovníku zakázky speciálně pro konkrétní zakázku. Po příjmu takového materiálu by byly vychystány do košů viz obr. 40. Pro skladování trubek bylo rozhodnuto o zakoupení nového kardexu viz obr. 39, což znamená investici asi 140 tis. EUR. Následný scénář by byl takový, že pracovník svařovny – přípravář by měl na starosti vychystání materiálu potřebného ke konkrétní zakázce a následně přesunutí ke svařovně. Určené plochy, které budou využity pro skladování nesvařených částí popisuje detailovaný layout svařovny na obr. 41.



Obr. 40 Koše pro uložení dílců ke svaření.



Obr. 41 Detailování ploch ve svařovně.

Zelené plochy označují, prostory, které je možné využít ke skladování vychystaných dílců ke svaření nebo naopak jsou tyto plochy využity k odložení již svařených dílců. Šedé plochy značí místa, kde jsou umístěny svářečky, rotační polohovačla, brusky a další zařízení. Žluté plochy značí pracovní plochy. Po svaření u uhlíkových ocelí dochází zpravidla k následnému lakování. Lakovna je situována v těsné blízkosti svařovny, aby byla manipulace s trubkovými sadami co nejefektivnější. Po lakování bude provedena ke konzervaci trubek a k jejich balení pro

meziuskladnění na externím skladě. To v případě, že bude trubková sada svařována dopředu před zahájením montáže ve výrobě BR. V současné době není tento proces ověřen v praxi, jelikož prozatím nedošlo k instalaci nového kardexu. Nicméně ten by měl sloužit pro skladování metráží trubek, kdy principem bude, že připravář si vyvolá pozici požadovaného rozměru trubky dle kusovníku, následně se přesune k pile, kde zkrátí trubku na požadovanou délku a následně vrátí zbývající metráž trubky do kardexu nebo do skladového regálu. Skladovým regálem je myšlen dosavadní regál, sloužící pro skladování potrubí, který bude umístěn v blízkosti nového kardexu. Zjednodušený návrh procesu toku materiálu je schematicky znázorněn v příloze č. 3. Popisuje příjem materiálu a jeho návoz do kardexu trubek. Dále je zobrazena cesta materiálu z kardexu pro přípravu a svaření, následuje cesta do lakovny. Poslední z tras je do oblasti, kde probíhá balení.

3.1.3 Odpovědnosti

Pro zajištění plynulého chodu výroby bylo nutné zpracovat proces činností a odpovědností jednotlivých oddělení. Graficky je popisuje tzv. procesní mapa zobrazená v příloze 4. Cílem této podkapitoly je popsat vstupy a výstupy daných oddělení nezbytné pro zajištění výroby. Jedná se o návrh, jak bude daný proces probíhat, respektive procesy jednotlivých oddělení před zahájením fyzické výroby v BR a zároveň jak bude zajištěna komunikace mezi danými odděleními. Návrh těchto procesů popisuje úkony následujících oddělení:

- STS – „Sales & technical support“, oddělení, které má na starost komunikaci se zákazníkem a technickou podporu.
- PJM – „Project management“, vedení, kalkulace zakázek.
- END – „Engineering & design“, oddělení konstrukce, zodpovědné za výkresovou dokumentaci.
- MFO/MFE – „Manufacturing operations & engineering“, součástí tohoto oddělení jsou koordinátoři zakázek, svařovací technolog, procesní inženýr.

Zákazník svou poptávkou určuje, jakým typem budeme zakázku označovat. V zásadě jde o rozdělení do dvou druhů a to MTO (make to order) nebo PTO (purchase to order). V prvním případě (MTO) se jedná o kompletní zpracování zakázky, tzn. zajištění kompletní výroby. To obnáší konstrukci jednotlivých nádrží i rozpad trubkových sad. Ve druhém případě může dojít k tomu, že zákazník má již konstrukci hotovou, a tudíž dodává výrobní dokumentaci. U zakázek PTO je nutné zkontrolovat relevantnost dané dokumentace, případně rozhodnout o jejím použití pro výrobu trubkových sad. Graficky znázorněno ve výše uvedené příloze č. 4.

Co se týče oddělení STS, to je odpovědné za vytvoření tzv. technické specifikace (TS) zakázky. Ta obsahuje základní technické informace. V případě MTO zakázek je nutné, aby byla obsažena informace o svařování, případně speciálních požadavcích zákazníka, které nejsou standardem BR. V případě některých speciálních požadavků je opět nutné přezkoumání technologem o možnosti zajištění výroby. Například zajištění NDT zkoušení nad standard BR.

Oddělení konstrukce a designu následně zhotoví technickou dokumentaci. To znamená výrobní výkresy trubkových sad. Je dobré upozornit na fakt, že výrobní dokumentace neobsahuje veškeré formality z pohledu technických norem pro výkresovou dokumentaci. Výstupem z oddělení konstrukce je tedy kompletní výkresová dokumentace a zároveň kusovník jednotlivých komponent, který je součástí zakázky v systému SAP. Konstrukce je nutná dodržet několik pokynů, kterými jsou:

- Vytipované rozměry potrubí, na které má firma, potažmo svářeči kvalifikaci.
- Použité základní materiály, dle standardu BR.

- Veškeré položky v kusovníku označeny materiálovým číslem (identem), pro zjednodušení nákupu a manipulaci s těmito položkami.

Je nutné mít kvalitně zpracovanou technickou dokumentaci, v případě, že by se trubková sada nechala zhotovit externím dodavatelem obdobně tomu, jak je to v dosavadním režimu. Nicméně současný způsob technické dokumentace v případě MTO zakázek je dle standardu BR a vyhovuje i pro výrobu nízkotlakých trubkových sad.

3.2 Svařovací plány, WPS

Zpracování svařovacích plánů (WP) je jedním z podprocesů svařování. Výrobce má zpracovány interní postupy, které upravují popis tvorby WP pro svařování hydraulických potrubí z uhlíkové a korozivzdorné oceli. V současné době tuto směrnici využívá pracovník svářečského dozoru, který je za tvorbu WP odpovědný. Jelikož výrobce bude navyšovat produkci potrubních sad, tak dojde ke zvýšení časové náročnosti nejen v oblasti posuzování jednotlivých zakázek, ale i v oblasti přípravy výrobních podkladů. Zvýšenou časovou náročnost bude výrobce řešit obsazením další pozice technologa, který bude plnou časovou kapacitu věnovat svařování a potřebné administrativě.

Činnost technologa, potažmo svářečského dozoru, začíná posouzením zakázky. Posouzení zakázky se skládá z několika bodů. V prvním bodě svářečský dozor ověřuje, zda zákazník vyžaduje dodatečné zkoušky před nebo po svařování. Pokud zákazník nemá dodatečné požadavky, tak je svařování provedeno standardní formou dle interního předpisu „Předpisy pro svařování při výrobě agregátů“. V dalších bodech posouzení zakázky je dozorem kontrolována výkresová dokumentace z pohledu umístění svarů, svařitelnosti, kvalifikace personálu a výrobce, technického vybavení výrobce, polohy svařování aj. důležité aspekty pro bezproblémové svaření jednotlivých komponent potrubní sady.

Následuje vyhotovení samotného svařovacího plánu. Technolog prověří v systému SAP u dané zakázky, zda je k dispozici dokumentace nezbytná pro vytvoření WP. Tím se rozumí kompletní a aktuální verze výrobní dokumentace trubkové sady. V případě nedostatečné dokumentace informuje koordinátora zakázky (MFE), který je zodpovědný za komunikaci s ostatními odděleními a zajištění dokumentace. Zpravidla se jedná o vrácení zakázky na oddělení konstrukce (END) na doplnění.

Ve výkresové dokumentaci jsou následně označeny všechny svarové spoje, které budou zhotoveny při montáži nebo při výrobě trubkové sady ve výrobním závodě BR. Značení jednotlivých svarů se provádí číslicemi 1 až n (n=poslední číslo svaru), chronologicky od prvního listu výkresové sestavy k poslednímu. Každá sestava má vlastní číselnou řadu značení, tudíž nelze označit jednou číselnou řadou více sestav. Spolu s označením svarů pořadovým číslem jsou ke každému svaru předepsány postup svařování WPS (VP) a poloha svařování. Technická dokumentace je opatřena razítkem SD (případně technologa) a jsou dopsány požadavky na NDT (zákaznické nebo standard BR).

Pro příklad vzorového zhotovení svařovacího plánu byla vybrána jedna ze součástí konkrétní nízkotlaké trubkové sady. Technická dokumentace s nutnými informacemi je zobrazena v příloze č. 5. Přiřazené svařovací postupy jsou vypracovány do konkrétního svařovacího plánu – příloha č. 6. Po vypracování podkladů je výkresová dokumentace ponechána v kanceláři MFO pro vyzvednutí příslušným svářečem nebo skupinovým vedoucím dané zakázky. Popis jednotlivých informací na výrobním výkrese:

- Materiálové číslo – identifikace trubkové sady.
- Výrobní číslo a název zakázky – interní způsob identifikace výrobní dokumentace pro zachování materiálové sledovatelnosti.

- 1,2, 3, ..., – Chronologické číslování svarů pro svaření ve výrobním závodě BR.
- Svar 1 VP15, PH – Specifikace postupu svařování VP15 a polohy svařování PH.
- NDT – specifikace NDT zkoušení dle zákaznických požadavků ze SAP.
- Razítko, podpis – podpis dokumentace SD případně technologem.

3.2.1 Welding book, realizace svarů, archivace WP

Pro účely zautomatizování svařování trubkových sad byl vytvořen tzv. Welding book, který umožňuje svářečům samostatné a správné zvolení postupu svařování v případě oprav stávajících svarů či vytvoření nových svarů. Je zobrazen v příloze č. 7. V praxi to doposud znamenalo, že mohlo dojít k vyplnění svařovacího postupu samotným svářečem. To je do budoucna bráno jako neefektivní z pohledu zbytečné administrativy převedené na svářeče a za svařovací plán bude, jak je již výše zmíněno, plně odpovědný svařovací technolog. Nicméně funkce welding booku je efektivní a bude jí dále využíváno. Welding book urychluje přiřazení WPS do svařovacího plánu dle průměru potrubí a zároveň nese informace o kvalifikacích svářečů.

V průběhu realizace svarového spoje je povinností každého svářeče, označit provedený svarový spoj přidělenými raznicemi a na základě výkresové dokumentace s uvedeným číslem svaru vyrazí antistresovou raznicí čitelně přibližně 2 cm od svaru číslo svaru jako např. na obrázku 42. Tím je zachována zpětná dohledatelnost svaru ve svařovacím plánu.



Obr. 42 Označení svarů antistresovou raznicí.

Kompletní WP s výrobní dokumentací je předán vedoucímu montážní skupiny, který ho po ukončení montáže spolu s ostatní dokumentací předá pracovníkovi administrativy výroby.

Celková dokumentace je uložena do archivu s označením TPV – ukončení (TPV = technická příprava výroby).

Za dodání materiálových certifikátů a atestů od dodavatele komponent odpovídá oddělení nákupu. Musejí být k dispozici nejpozději v den příjmu požadovaného dílu na sklad. Pracovníci logistiky jsou předáni v elektronické nebo papírové podobě na oddělení PJM k dalšímu zpracování. Materiálové atesty a certifikáty, které jsou přibaleny u dodávaných dílů (metráž potrubí) budou skenovány a uloženy do archivu certifikátů pracovníky QMM po proběhlé vstupní kontrole.

3.3 Technologický postup

Tato podkapitola je věnována tvorbě technologického postupu. Je stěžejní pro praktické ověření svařitelnosti materiálů, popsání postupu práce svařečů a v neposlední řadě je jeho popis důležitý pro tvorbu interní normy pro svařování. V případě ručního svařování metodou 141 nelze jinak než experimentálně stanovit dobu svařování. Pro experimentální část technologického postupu a následné měření času svařování byly vybrány rozměry a materiál viz tabulka 7. Tyto použité rozměry a materiál jsou zpravidla nejpoužívanějšími při výrobě nízkotlakého potrubí ve společnosti BR. Veškeré práce proběhly ve výrobě BR. Snahou bylo vytvoření pracovního postupu svařečů, popsání jednotlivých úkonů a použitých zařízení. [37]

Tab. 7 Vybrané rozměry vzorků trubek pro zhotovení technologického postupu a měření času svařování.

Označení vzorku	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Rozměr potrubí [mm]	Ø 38,0 x 4,0	Ø 76,1 x 2,9	Ø 114,5 x 3,6	Ø 60,3 x 10,0	Ø 76,1 x 13,0
Materiál	P335+N	E235+N	P355+N	P355+N	P355+N

Pro výrobu vzorku 2 byl zvolen materiál označený E235+N dle EN 10027-1. Pro vzorky č. 1, 3, 4 a 5 byl zvolen materiál P355+N. Svařitelnost těchto ocelí je velmi dobrá. Tyto vzorky a níže navržený pracovní postup při svařování budou sloužit jako základ pro měření doby svařování a tvorbu interní normy. [46]



Obr. 43 Pásová pila pro řezání trubek.



Obr. 44 Úkosování pomocí třískového obrábění.

Celý technologický postup výroby začíná nařezáním trubek na požadovanou délku. Použitým zařízením je pásová pila, která je umístěna mimo svařovnu (obr. 43). Následně je dle požadavků WPS zhotoven úkos. Úkosování probíhá pomocí úkosovačky na trubky (obr. 44).



Obr. 45 Zabroušení návarové hrany.



Obr. 46 Očištění vzduchem.



Obr. 47 Dílce připravené ke svaření.

Po tvorbě úkosu je nezbytné zabroušení návarové hrany (obr. 45) a očištění vzduchem (obr.46). Na obrázku 47 jsou zobrazeny hotové připravené vzorky, které je následně možné ustavit a nastehovat. Před ustavením součásti je nezbytné plochy odmastit speciálním čističem (obr 48).

Ustavení (obr. 49) dvou trubek k sobě probíhá tak, aby bylo dosaženo mezery dle specifikace svařovacího postupu (WPS). Takto ustavené části mohou být nyní nastehovány.



Obr. 48 Odmaštění svarové plochy.



Obr. 49 Ustavení dílců.

Obrázky 50 a 51 ukazují svářeče při ručním stehování dvou částí trubek k sobě a jejich vyrovnání dle požadované dokumentace. Stehování musí být provedeno stejnou metodou, jako samotné svařování.



Obr. 50 Stehování.



Obr. 51 Vyrovnání po stehování.

Následně svářeči využívají přípravků. Tyto přípravky slouží jednak k upnutí do rotačního polohovadla a dále k zabránění úniku formovacího plynu. Takový přípravek je rovněž nastehován k jednomu konci z trubek. Následně je přípravek upnut do polohovadla (obr. 52) a je namontován další přípravek pro přívod formovacího plynu viz obr. 53.

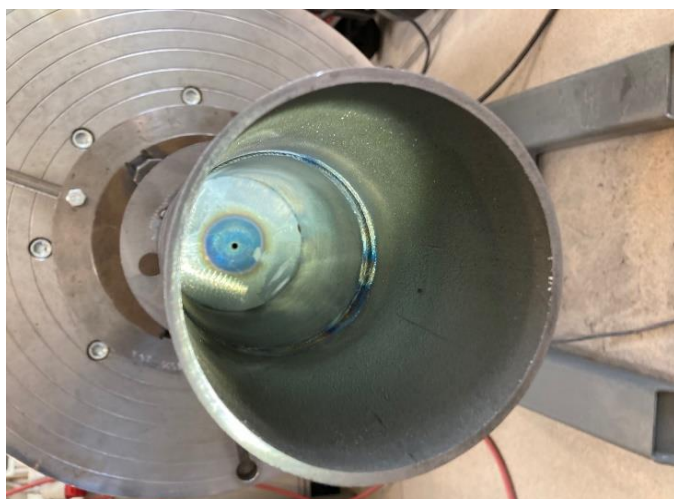


Obr. 52 Upnutí do rotačního polohovadla.



Obr. 53 Přípravek pro přívod formovacího plynu.

Obrázky 54 až 56 popisují další nezbytné kroky při svařování. Každá vrstva je vizuálně kontrolována svářečem (obr. 54). Mezi svařováním jednotlivých vrstev dochází k měření teploty interpass ručním teploměrem (obr. 55). Mezi jednotlivými vrstvami dochází také k očištění první vrstvy ruční úhlovou bruskou (obr. 56).



Obr. 54 Kontrola kořenové vrstvy svaru.



Obr. 55 Kontrola teploty interpass.



Obr. 56 Zčištění první vrstvy svaru.



Obr. 57 Odřezání přípravku.



Obr. 58 Zčištění přípravku pro další použití.

Na konci svařování už pouze svářeč odřeže ručně přípravek (obr. 57) a očistí ho pro příští použití (obr. 58). Navržený technologický postup má za cíl sepsání daných úkonů svářeče. Jeho zhotovení zároveň bylo nezbytné pro měření doby svařování. Po zavedení výroby nízkotlakých trubkových sad bude vhodné, aby přípravu jednotlivých dílců ke svařování prováděl přípravář, který bude mít na starosti i manipulaci s materiálem. Časovou úsporou tedy bude příprava více dílců najednou na jednom ze stanišť.

Za použití tzv. svařovací knihy (Welding book – příloha 7) byly k jednotlivým vzorkům přiřazeny postupy svařování viz tabulka č. 8. Použité WPS jsou uloženy v přílohách 10 až 12. Svařovací postupy slouží pro stanovení rozměrů úkosů a stanovení správných parametrů svařování.

Tab. 8 Přiřazení postupu svařování (WPS) za použití Welding book.

Označení vzorku	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Rozměr potrubí [mm]	Ø 38,0 x 4,0	Ø 76,1 x 2,9	Ø 114,5 x 3,6	Ø 60,3 x 10,0	Ø 76,1 x 13,0
WPS	VP15-2	VP 30	VP 15-2	VP 29	VP 29

Pro kontrolní výpočet uhlíkového ekvivalentu a ověření svařitelnosti byl vybrán vzorek č. 2. Jak je uvedeno v tabulce č. 8, jedná se o trubku s rozměry Ø 76,1 x 2,9. Pro ověření svařitelnosti byla použita tavba č. 872 viz příloha 8. Její chemické složení, včetně stanovených hodnot dle normy ČSN EN 10305-1 jsou uvedeny v tabulce 9. Veškeré použité WPS (VP15-2, VP 29 a VP 30) jsou uloženy v přílohách. [44]

Tab. 9 Chemické složení oceli E235+N v hm. % (N – požadavky normy, 872 – hodnoty dle certifikátu).

Složení	C	Mn	Si	P	S	Al
E235+N (N)	max 0,17	max 1,20	max 0,35	max 0,025	max 0,025	max 0,015
Tavba (872)	0,08	0,42	0,22	0,014	0,006	0,025

Mechanické a fyzikální vlastnosti tavby 872 v porovnání s předepsanými vlastnostmi materiálu E235+N dle normy ČSN EN 10305-1 jsou uvedeny v tabulce 10. Jak chemické složení, tak i mechanické vlastnosti vyhovují normě. [44]

Tab. 10 Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli E235N.

Vlastnosti	E235+N	872
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	min 235	324
Pevnost v tahu R_m [MPa]	min 340 max 480	408
Tažnost A5 [%]	min 25	38,9

Výpočtem uhlíkového ekvivalentu ověříme svařitelnost materiálu použitého na vzorky. Pro výpočet byl použit vztah 2.1, metoda B dle normy ČSN EN 1011-2 za podmínek uvedených v kapitole 2.2.1 pro které výpočet platí. Výpočet CET pro E235+N: [47]

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [\text{hm. \%}]$$

$$= 0,08 + \frac{0,42+0}{10} + \frac{0}{20} + \frac{0}{40} = 0,122 \%$$

Z tabulky 4 Přehled mezních tlouštěk a uhlíkových ekvivalentů uhlíkových ocelí dle IIW vyplývá, že ocel je zaručeně svařitelná. Použité WPS nemají informaci o rychlosti posuvu, proto kontrolně spočítat hodnotu vneseného tepla a následně ověřit teplotu předehřevu. Z teoretické části však víme, že svařové spoje uhlíkových ocelí s mezí pevnosti do 700 MPa při splnění kritérií uvedených v tabulce č. 6 (kapitola 2.2.1) se nedoporučuje použití předehřevu. Přesto je ve svařovacích postupech uvedena teplota interpass o hodnotě 315 °C, tudíž byla při samotném svařování kontrolována. Pro svaření kontrolního vzorku č. 2 byl použit PM drát s označením Böhler EMK6 o průměru drátu 1,6 mm. Materiálový certifikát drátu lze vidět v příloze 9.

Navržený postup svařování je vyhovující a není potřeba implementovat další návrhy pro optimalizaci. Po zavedení výroby celých trubkových sad bude potřeba na základě výše uvedeného návrhu další dílčí výrobní postupy s ohledem na komplikovanost daných dílců. Výrobní postupy při přípravě i při svařování bude potřeba nadále popisovat a upravovat s ohledem na navýšení kapacity výroby.

3.3.1 Měření času výroby, tvorba normy

Při svařování jednotlivých vzorků došlo k podrobnému měření jednotlivých fází výroby od samotného řezání až po ukončení svařování. Toto měření bude využito jako podklad pro kalkulaci hodin vymezených pro svařování. Tyto hodiny mají přímý vliv na celkovou kalkulaci zakázky. Výsledky měření doby svařování jsou znázorněny v následujících tabulkách 11 a 12.

Tab. 11: Zápis z měření svařování trubky 76,1 x 2,9 E235+N.

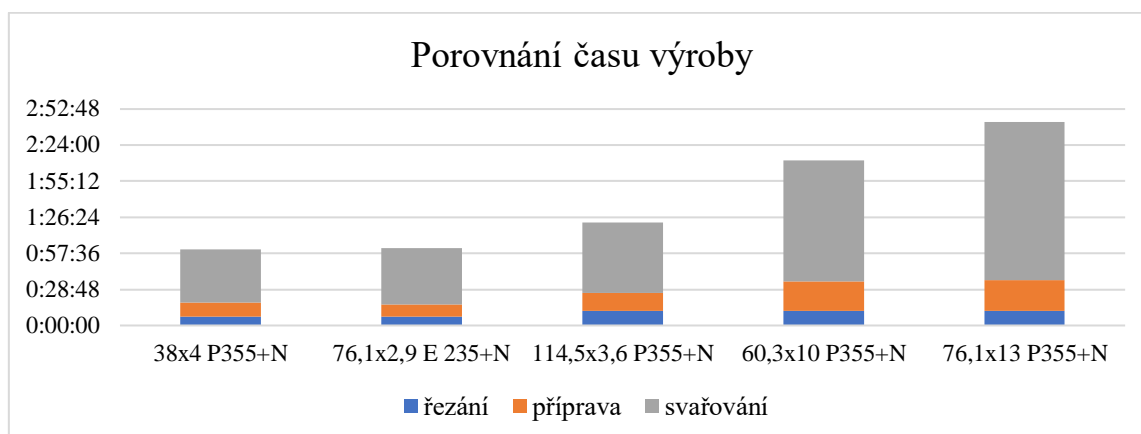
Datum měření: 29. 3. 2022, svářeč č. 1, Popis součásti: 76,1 x 2,9 E235+N		
Doba trvání [hh:mm:ss]:	Popis úkonu	Kategorie
0:07:00	řezání 2x	řezání
0:02:00	úkosování	příprava
0:04:30	broušení návarové hrany	příprava
0:01:50	broušení úkosu	příprava
0:01:40	odmaštění, čištění	příprava
0:04:30	ustavení součásti, stehování	svařování
0:05:00	upnutí, lepící páska, přípravky pro formovací plyn	svařování
0:15:00	svařování 1. vrstva	svařování
0:10:00	chladnutí	svařování
0:08:20	svařování 2. vrstva	svařování
0:01:50	kontrola svaru, odepnutí kusu, úklid	svařování

Tab. 12 Shrnutí doby svařování 76,1 x 2,9 E235+N.

Celková doba trvání [hh:mm:ss]:	Kategorie
0:07:00	řezání
0:10:00	příprava
0:44:40	svařování
1:01:40	celkový čas

Časy ostatních vzorků s podrobným popisem jednotlivých úkonů jako v tabulkách 11 a 12 jsou uvedeny v příloze č. 13. Výsledkem měření jsou časy potřebné pro přípravu dílců a pro samotné svařování. Ty mohou být následně použity pro tvorbu normy svařování. Při vytvoření svařovacího postupu bude moct technolog využít této normy pro stanovení odhadu času svařování dané zakázky. Jak vyplývá z naměřených hodnot, na délce svařování se primárně podílí průměr, a ještě více tloušťka dané součásti. Po vytvoření svařovacího postupu, který nese informace o daných spojích, může technolog přiřadit daným spojům dle konkrétních rozměrů trubek odhadovaný čas svařování. Tento odhad bude stěžejní pro kapacitní plánování svařovny

a pro cenovou kalkulaci zakázek. Jednotlivé rozdíly mezi svařovanými vzorky byly vyneseny do grafu viz obr. 59.



Obr. 59 Naměřené časy u svařovaných vzorků.

Měření budou i nadále probíhat dle uvedeného formátu v tabulce č. 11. Pro praktické ověření tohoto plánování byl srovnán počet odepsaných hodin svářečů při vyhotovení montážních svarů při jedné z konkrétních zakázek. Svářeči na této zakázce zhotovily celkem 46 montážních svarů a bylo odepsáno 63 hodin. Dle kalkulace z výchozího měření byl předpoklad, že čistý čas svaření těchto spojů by mělo zabrat 42 hodin a dalších 6 hodin by měla trvat příprava. Vzniklý rozdíl pramení pravděpodobně ve složitosti součástí a zároveň souvisí s dobou manipulace. V tomto případě byla zakázka poměrně daleko umístěna od svařovny, tudíž docházelo k delšímu přesunu jednotlivých dílců ke svařovně. Z toho vyplývá, že do odhadované doby zpracování svařování na zakázkách bude třeba implementovat koeficient náročnosti manipulace. Tato manipulace spočívá například v tom, že v případě již z části svařených dílců, nebudou moct být všechny upnuty do rotačních polohovadel. V takových případech se využívají přípravky na položení trubky (obr. 60) a zároveň musí být přítomný další pracovník, který bude moct s trubicou v průběhu svaření manipulovat, respektive pootáčet.



Obr. 60 Přípravek pro svařování z části svařené trubky.

3.4 Proces NDT, formuláře VT

Finálním procesem nezbytným pro výrobu svařovaného potrubí jsou NDT zkoušky. Již během svařování jsou všechny svary 100% kontrolovány svářečem. U zakázek se obvykle objevuje i požadavek na záznam z NDT zkoušek. V případě tohoto požadavku se u nízkotlakého potrubí zpravidla jedná o záznam vizuální kontroly 100 % svarů. Tento úkon provádějí a následný protokol z VT zkoušky zhotovují pracovníci oddělení kvality. Jsou-li u zakázky požadované nestandardní NDT zkoušky než 100% vizuální kontrola, připraví svářeč veškeré svarové spoje určené ke zkoušce na paletu. Označí je číslem výrobní zakázky, typem zkoušky a přiloží formulář „Objednávka na NDT zkoušení“.

Jak je ale již výše zmíněno, standardem je vizuální kontrola prováděna kontrolory z oddělení kvality. Pro nepřístupné svarové spoje je použito videoskopu. Ten je vybaven displejem a paměťovou kartou, na kterou je možné zaznamenat obraz svarového spoje. V případě výskytu vady u svarového spoje, kontrolor upozorní svářeče na chybu a je provedena oprava. Jednotlivé zkontrolované spoje jsou zaznamenány do protokolu o vizuální kontrole svarů dle ČSN EN ISO 17637 Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů. Na obrázcích 61 a 62 je zobrazen proces kontroly svarů pomocí videoskopu. Na obrázku 62 je vidět zjištění vady kdy byl zjištěn neočištěný svar po provedeném svařování. Pracovník tuto vadu zanesl do protokolu vizuální kontroly a následně byla provedena oprava svaru. [43]



Obr. 61 Kontrola nepřístupného svaru.



Obr. 62 Zjištění vady pomocí videoskopu.

TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Hlavním předmětem praktické části bylo nastavit jednotlivé podprocesy pro výrobu nízkotlakých trubkových sad svařováním. Realizace výroby nízkotlakého potrubí má za cíl vyřešení problému časových prodlev dodání sad od dodavatelů a zároveň možné finanční úspory. Pro plynulý chod samotné výroby bylo nutné zanalyzovat současný stav výroby a navrhnout opatření realizovatelné ve výrobě BR. Realizace těchto opatření znamenají investice do výroby.

Jelikož je tato práce veřejná a výrobní ceny daných trubkových sad jsou choulostivou informací, bude v ekonomickém zhodnocení snaha o vyjádření úspor v procentech, případně budou tyto hodnoty záměrně zkráceny. Největší položku na celkové hodnotě investic tvoří nákup kardexu pro trubky, který byl zhodnocen jako nezbytný pro zajištění efektivní manipulace s trubkovým materiálem. Další investicí je stěhování svařovny a její dovybavení. Celkové investice jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 Investice nutné pro zavedení výroby nízkotlakého potrubí v BR.

Investovaná položka	Cena [tis. EUR]
Kardex na trubky	140
Stěhování svařovny	35
Nové vybavení svařovny	25
Celková investice	200

Následně byly provedeny analýzy cen 5 trubkových sad od 2 různých dodavatelů v porovnání s odhadovanou cenou výroby v BR. Rozdíly v cenách mezi dodavateli tvoří primárně různé ceny materiálů nebo rozdílná hodinová sazba při svařování. U dodavatele č. 1 byla cena kalkulována bez dodání materiálových certifikátů a zároveň v této ceně nebyla zahrnuta položka za vypracování svařovacích plánů. Porovnání kalkulované ceny daných trubkových sad uvedeno v tabulce č. 14. Do odhadované hodnoty ceny ať už dodavatelů či při výrobě v BR byly krom zhotovení samotných svar zahrnuty následující položky, které jsou nezbytné pro BR:

- cena základního materiálu,
- materiálové certifikáty v úrovni 3.1,
- svařovací plán,
- značení svarů – zpětná sledovatelnost,
- VT svarů,
- technická dokumentace – výrobní výkresy trubkových sad.

Tab. 14 Porovnání cen jednotlivých dodavatelů s odhadovanými náklady při výrobě v BR. Uvedené ceny jsou v eurech.

Číslo sady	Cena dodavatele č. 1	Cena dodavatele č. 2	Náklady při výrobě v BR
R1	6 200	6 600	3 700
R2	4 600	5 000	3 500
R3	4 000	3 800	3 400
R4	7 800	7 400	4 500
R5	23 000	21 200	14 000
Celkem	45 600	44 000	29 100

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že ceny při výrobě trubkových sad ve výrobě BR jsou zhruba o 35 % nižší než při dodání. Podobná analýza byla provedena i pro vysokotlaké potrubí, tam však z důvodu většího rozsahu NDT zkoušení a jiných typů materiálů nebylo dosaženo takových úspor. S ohledem na fakt, že se v případě celé produkce Bosch Rexroth nejedná o sériovou, nýbrž zakázkovou výrobu, bylo těžké odhadnout návratnost uvedené investice.

Analýzou bylo zjištěno, že nákup nízkotlakého potrubí u 95 zakázek stál zhruba 390.000 EUR. Se současným zjištěním, že úspora při výrobě v BR tvoří 35 %, to znamená roční úsporu necelých 137.000 EUR za rok. To by znamenalo návratnost investic během necelých dvou let. Uvedená čísla je však nutné brát s rezervou, jelikož ceny u jednotlivých zakázek jsou velice rozdílné z důvodu velikosti. Zároveň každý rok je různý počet zakázek. I přes to se však jeví produkce nízkotlakého potrubí v BR jako úsporná a realizovatelná.

ZÁVĚR

Zadáním a cílem této diplomové práce bylo stanovení návrhů pro optimalizaci daných podprocesů při zavedení výroby svařování nízkotlakého potrubí ve spolupracující firmě. Důvody nahradit stávající postup, kdy doposud společnost nízkotlaké trubkové sady nakupovala, byly stále se prodlužující dodací lhůty dodavatelů a zároveň možná finanční úspora.

Bylo provedeno seznámení se se současným stavem výrobního postupu. Na základě toho byla provedena literární rešerše používaných materiálů a technologických postupů. Jedná se o ruční svařování metodou TIG a o základní zhodnocení svařitelnosti základních materiálů, využívaných pro výrobu nízkotlakých trubkových sad ve společnosti. Pro optimalizaci daných podprocesů bylo vybráno několik oblastí. Jedná se o umístění svařovny a rozmístění jejího vybavení, následně pak návrh pro tok materiálu při výrobě. Byl navržen a experimentálně ověřen technologický postup při svařování základních komponent. Při tomto experimentu bylo zásadní měření času svařování, které bude nadále využito při tvorbě normy svařování ve firmě. Tato norma by měla ovlivnit hodinovou dotaci pro dané zakázky, což se projeví i do kalkulace cen zakázek.

Na závěr proběhly analýzy možných finančních úspor uvedené v technicko-ekonomickém zhodnocení. Jsou uvedeny náklady spojené s navrženými optimalizacemi, jako je nákup nového automatického skladového systému kardex, nebo náklady spojené s novou svařovnou. Proběhlo porovnání cen dodavatelů s odhadovanými náklady při výrobě v Bosch Rexroth Brno. To ukázalo možnou finanční úsporu asi 35 % při výrobě trubkových sad vyrobených v brněnském závodě.

V současné době ještě nebylo možné ověřit nastavený proces v praxi, s jeho realizací se počítá na začátek podzimu roku 2022, kdy by mohla začít produkce kompletních trubkových sad ve společnosti. Souvisí to s pozdější instalací nakupovaného kardexu, s finální úpravou jednotlivých podprocesů a úplným nastavením odpovědností jednotlivých oddělení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Wolframové elektrody - použití a broušení. In: *Svářecíkukla.cz* [online]. ČR [cit. 2022-04-5]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/blog/wolframove-elektrody-pouziti-a-brouseni/>
2. Wolframové elektrody - druhy, použití, broušení. In: *METAWELD - specialista na svářecí techniku* [online]. ČR [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.metaweld.cz/wolframove-elektrody-druhy-pouziti-brouseni/>
3. Druhy a použití W-elektrod. In: *SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ* [online]. ČR [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/druhy-a-pouziti-wolframovych-elektrod/t-30/t-107>
4. TIG svařování II - AC nebo DC?. In: *SVARINFO - MAGAZÍN PRAKTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ* [online]. 2009 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-ac-nebo-dc/t-68/t-122>
5. TIG welding. In: *Keyence: Automated Welding Basics* [online]. USA: Keyence, 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/ss/products/measure/welding/arc/tig.jsp>
6. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ II: ČÁST SVAŘOVÁNÍ - 1*. Brno, 2018. Dostupné také z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf
7. FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2. upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7185-3.
8. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ I*. Brno, 2018. Dostupné také z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/ctv_technologie_vyrob_y_I_svarovani_kubicek.pdf
9. ZVOLÁNKOVÁ, Kateřina. *Rozvoj procesu neustálého zlepšování v obchodně-výrobní společnosti* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace?zp_id=109081#_ga=2.252038667.302696039.1650026708-1253294851.1629621879. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
10. FEŠAR, Tomáš. *Zefektivnění výrobního provozu hydraulických agregátů ve firmě Bosch Rexroth* [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace?zp_id=83928#_ga=2.180347942.302696039.1650026708-1253294851.1629621879. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
11. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN isbn80-85771-81-0.
12. REXROTH A BOSCH COMPANY. Press: Entertainment on AIDAnova. In: *Bosch Rexroth. WE MOVE, YOU WIN* [online]. Lohr am Main, 2019-06-18 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/company/press/index2-36224>

13. AIDAnova. In: WTS [online]. Sottrum: WTS, 2021 [cit. 2022-02-11].
Dostupné z: <https://www.wts-touristik.de/aidanova/>
14. TEMIZER, Murat. TurkStream's giant pipelaying vessel: Pioneering Spirit. In: *Anadolu Agency* [online]. Ankara, 2018, 21.11.2018 [cit. 2022-02-15].
Dostupné z: <https://www.aa.com.tr/en/economy/turkstreams-giant-pipelaying-vessel-pioneering-spirit/1317436#>
15. *Bosch Rexroth v České republice: Produktová brožura* [online]. 1. Brno: Bosch Rexroth, 2010 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1667542-Bosch-rexroth-v-ceske-republice-produktova-brozura.html>
16. BOSCH ČESKÁ REPUBLIKA. *Bosch dnes 2021* [online]. 1. Praha: Robert Bosch, 2021 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: https://www.bosch.cz/media/our_company/bosch_today_2021_cz_final.pdf
17. EV. Výroba hydraulických pohonných agregátů Bosch Rexroth. *Automa* [online]. 2018, 24(1), 35 [cit. 2022-02-11]. ISSN 1210-0592.
Dostupné z: <https://www.pablikado.cz/dokument/G2ejeMM8l117q518>
18. Bosch ve světě. In: *Bosch* [online]. Praha: Bosch, 2021, s. 1 [cit. 2022-02-15].
Dostupné z: <https://www.bosch.cz/nase-spolecnost/bosch-group-ve-svete/>
19. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
20. ČSN EN ISO 6848. *Obloukové svařování a řezání – Netavící se wolframové elektrody – Klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2016, 24s
21. Svarinfo.cz.: *MAGAZÍN PRAKTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ* [online]. Praha: Svarbazar.cz, 2006 [cit. 2022-03-16].
Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2006111201>
22. HLA VATÝ, Ivo. *Teorie a technologie svařování*. VŠB-TU Ostrava, 2009
23. Průtokoměr kontrolní na svářecí hubice. In: *Svarecikukla.cz* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/prutokomer-kontrolni-na-svareci-hubice/>
24. Náhradní díly pro svářecí hořáky TIG 17, 18 a 26 A. In: *Svarecikukla.cz* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: https://www.svarecikukla.cz/nahradni-dily-horak-17a/?variantId=1175&utm_campaign=2022&utm_medium=CPC&utm_source=srovn_ame_cz&srovnnameczclid=7b02ae36-c481-11ec-987f-ac1f6b0076ba
25. TEJKAL, David. Interní směrnice DCPD 15603-008 *Průručka jakosti při svařování: dle ČSN EN ISO 3834-2*. Brno, 2021.
26. TEJKAL, David. Interní směrnice DCPD 15643-009 *Předpisy pro svařování při výrobě agregátů: Všeobecné technické požadavky*. Brno, 2021.
27. TEJKAL, David. Interní směrnice DCWI 15643-001 *Svařovací plány: Pravidla pro tvorbu a vyplňování*. Brno, 2018.
28. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
29. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-72-04-248-3.

-
30. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
 31. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
 32. KOUKAL, Jaroslav. *Svařování ocelových konstrukcí*. Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010. ISBN 978-809-0453-548.
 33. BARTÁK, Jiří. *Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce*. Praha: Dashöfer, 2013. ISSN 1803-2834.
 34. Základní materiál – ekvivalent uhlíku CET – metoda B. In: *Techportal.cz* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCyd9d4JCL8DCdYqYzdXTICOIQ
 35. SIGMUND, Marián, *Svařitelnost kovových materiálů* [přednáška]. Teorie a technologie svařování, Strojírenská technologie. Brno: Fakulta strojního inženýrství, 16. 11. 2020
 36. FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠAROVÁ, et al. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
 37. ČSN EN ISO 4063. *Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování*. 07/2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
 38. ČSN EN ISO 14731. *Svářečský dozor - Úkoly a odpovědnosti*. 01/2020. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
 39. ČSN EN 13480-5. *Kovová průmyslová potrubí - Část 5: Kontrola a zkoušení*. 11/2018. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
 40. ČSN EN ISO 3834-3. *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů – Část 3: Standardní požadavky na jakost*. 11/2021. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
 41. ČSN EN ISO 3834-2. *Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů – Část 2: Vyšší požadavky na jakost*. 11/2021. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
 42. TNI CEN ISO/TR 15608. *Svařování - Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2008.
 43. ČSN EN ISO 17637. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů*. 10/2018. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
 44. ČSN EN 10305-1. *Ocelové trubky pro přesné použití - Technické dodací podmínky - Část 1: Bezešvé trubky tažené za studena*. 09/2016. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
 45. ČSN EN 10204. *Kovové výrobky - Druhy dokumentů kontroly*. 08/2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
-

46. ČSN EN 10027-1. *Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek oceli*. 10/2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
47. ČSN EN 1011-2. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí*. 4/2002. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
α	Ferit alfa	[-]
γ	Austenit	[-]
δ	Ferit delta	[-]
σ	Fáze sigma	[-]
I_p	Impulsní proud	[A]
I_z	Základní proud	[A]
t_p	Čas impulsního proudu	[s]
t_s	Čas základního proudu	[s]

Zkratky

Označení	Legenda
BR	Bosch Rexroth
BrnP	Brno Plant (brněnský závod)
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DCCZ	Drive and Control technology Czech republic
DCEM	Drive and Control Middle Europe
EN	Evropská norma
END	Oddělení konstrukce
IIW	International institute of welding (mezinárodní svářečský institut)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
MFE	Oddělení výroby – engineering
MFO	Oddělení výroby – operativa
MTO	Typ zakázky „make to order“
NDT	Nedestruktivní testování
PJM	Oddělení projektového managementu
PM	Přídavný materiál
PT	Penetrační zkouška
PTO	Typ zakázky „purchase to order“
QMM	Oddělení řízení kvality
RT	Radiografická zkouška
SAP	Systems Applications Products in data processing (software pro interní informační systém)
SD	Svařovací dozor
spol s r.o.	Společnost s ručením omezeným
STS	Oddělení projekce
TIG	Tungsten Inert Gas Welding
TNI	Technická normalizační informace
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
TS	Technická specifikace
VP	Interní označení svařovacího postupu
VT	Vizuální zkouška
WP	Welding plan (svařovací plán)
WPS	Welding procedure specification (svařovací postup)

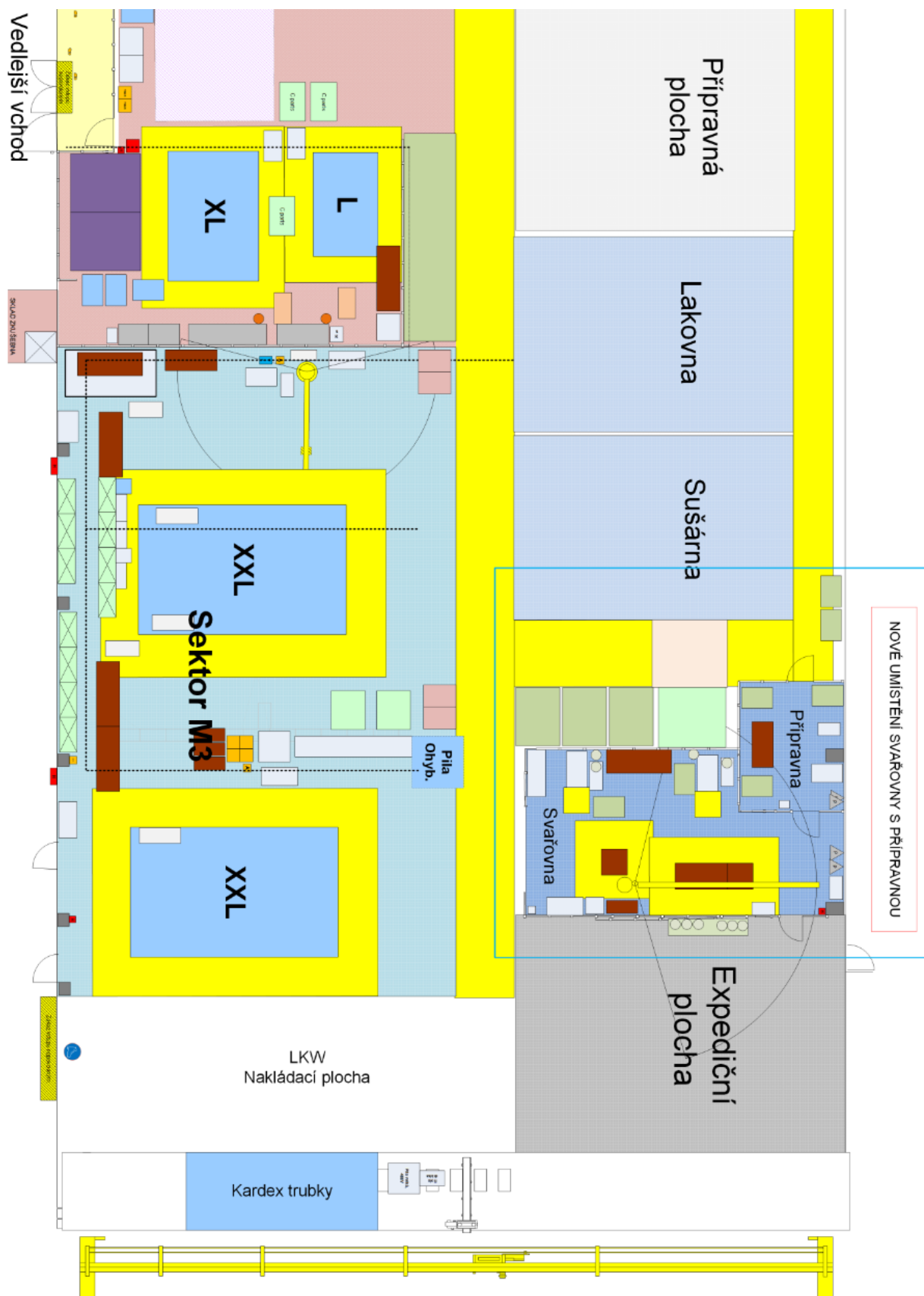
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Část layoutu výrobní haly – pozice staré svařovny
- Příloha 2 Část layoutu výrobní haly – nové umístění svařovny s přípravou
- Příloha 3 Navržený proces toku materiálu
- Příloha 4 Procesní mapa odpovědností při výrobě
- Příloha 5 Technická dokumentace
- Příloha 6 Vzorový svařovací plán
- Příloha 7 Welding book
- Příloha 8 Materiálový certifikát základního materiálu – tavba 872
- Příloha 9 Materiálový certifikát přídavného materiálu
- Příloha 10 WPS VP15-2
- Příloha 11 WPS VP29
- Příloha 12 WPS VP30
- Příloha 13 Průběh a časy měření vzorků

Příloha 1 Část layoutu výrobní haly – pozice staré svařovny



Príloha 2 Časť layoutu výrobní haly – nové umiestnenie svařovny s prípravou



DC Form
Svařovací plán/Welding plan



Číslo plánu: R987508213		Vyr. číslo zakázky / Production order: 16125843 - Štěpán U.		VT kontrola:		Svařecský dozor:		List číslo 1 z 1												
Plan No.:		Prodejní číslo zak. (Sales order number): 2564872_10		VT check:		Welding inspection:		List number: of												
Č. svaru Welding & No.	Základní materiál 1 Basic material 1	Základní materiál 2 Basic material 2	Číslo výkresu Drawing No.	D [mm] Diam.	t [mm] Thick.	Materiál Material	Číslo tavby Heat No.	Přid. materiál Filler material	Číslo šarže Charge No.	WPS Č.	Typ svaru BW/ FW Weld. Type	Metoda sv. Welding m.	Poloha svař. Welding pos.	Značka svářeč Welder mark	Datum Date	Zkoušky / Tests				
																VT Vic.	RT Rn.	UT Utr.	MT Mag.	
1.	Přiruba SAE21/2S		1/1	76,1	2,9	1.0402		EMK6 2,4		VP30	BW	141	PA			100 %				
					76,1	3,6	P355N		EMK6 2,4											
2.	Koleno		1/1	76,1	3,6	P355N		EMK6 2,4		VP30	BW	141	PA			100 %				
					76,1	2,9	P235TR1		EMK6 2,4											
3.	Koleno		1/1	76,1	2,9	1.0402		EMK6 2,4		VP30	BW	141	PH			100 %				
					76,1	3,6	P355N		EMK6 2,4											



Inšpekčný certifikát
Inspection certificate
EN 10204:2004/3.1

Číslo
Number **13910/1/2020**

List č. - Sheet No.: 1 / 2

Č.ext.obj. - External order No.:

OB202000372

Číslo položky - Item number:

1

Číslo zákazky výrobcu - Manufacturer's works order number:

LO 221165/1/1 701CC59

Číslo dopravného prostriedku - Transport No.:

5P27935 3U54120

Číslo ložného listu - Loading Bill No.:

771429

Číslo avíza - Dispatch note:

7021203

Výrobok - Product:

Rúry oceľové bezožvý ťahané za studena - štandardné presné rúry
Seamless cold-drawn steel tubes - Precision standard tubes

Vonkajší priemer - Outside diameter: **76.100 mm**
 Hrúbka steny - Wall thickness: **2.900 mm**
 Dĺžka - Length: **6000.000 mm [-0 +150] mm**
 Počet kusov - Number of pieces: **86**
 Celková dĺžka - Total length: **528.00 m**
 Celková hmotnosť - Total mass: **2796.00 kg**

Materiál - Material:

E235+N EN 10305-1 :2016

Stav dodania - Products as delivered condition:

Normalizačné žihanie - Normalizing

Technické predpisy - Technical requirements/Demand:

EN 10305-1 :2016

Číslo stavby Cart number	Počet kusov Number of pieces	Dĺžka Length [m]	Hmotnosť Mass [kg]	Druh tavenia Steelmaking process
872	86	528	2796	E

E = elektrická oblúčková pec - electric arc furnace

Druh ocele - Steel grade:

úplne ukľudnená oceľ - fully killed steel

Úprava povrchu - Surface protection:

Ochrana povrchu olejom - Surface protection with oil

Miesto v Podbrezovej
Location **Taz**

Dátum **12.03.2020**
Date

Závodný znalec
Works Inspector

Ing. Vojtas Miroslav

Železiarne Podbrezová s.a., Kolkárov 35, 970 81 Podbrezová, Slovak Republic
Phone: +421 48 645 1011, Fax: +421 48 645 1032, www.mestube.sk

CIN: 31 562 141, VAT No: SK2020458704

Bank account: Slovenská sporiteľňa, a.s., IBAN: SK69 0900 0000 0000 7598 0088, SWIFT (BIC): GIBASKBX
Registered in Register of Business Names in the District Court Bratislava, Section 5a, Entry No. 69/5



[Handwritten signature]

RAŽENO v K.B.



Inšpekčný certifikát
Inspection certificate
EN 10204:2004/3.1

Číslo
Number 13910/1/2020

List č. - Sheet No.: 2 / 2

Chemické zloženie - Chemical composition:

Číslo tavby Cast number	C	Mn	Si	P	S	Al
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
	Predpis - Requirements					
	min.	0.17	1.20	0.35	0.025	0.025
872	0.08	0.42	0.22	0.014	0.006	0.025

Skúška ťahom - Tensile test : 20 °C

C. Nr	Číslo tavby Cast number	Medza klzu Yield point - Proof stress	Pevnosť v ťahu Tensile strength	Ťažnosť Elongation
		ReH [MPa]	Rm [MPa]	A5,65 [%]
	Predpis - Requirements:		235	25.0
	min.	max.	---	---
I	872	324	408	38.9

Systém kvality výroby je certifikovaný fy SGS podľa ISO 9001, číslo certifikátu HU95/4628, platnosť certifikátu je do 18.7.2020.
Producer's Quality Assurance System is certified according to ISO 9001 by SGS, certificate no. HU95/4628, validity: 18.7.2020.

Skúška vírivými prúdmi vyhovela EN ISO 10893-1. 100%. Rádioizotopická aktivita je max. 100 Bq/kg.
Eddy current test without objections EN ISO 10893-1. 100%. Radioisotopic activity is max. 100 Bq/kg.

Všetky výrobky vyhovujú vyššie uvedeným normám a požiadavkám v objednávke.
All products meet requirements of above mentioned standards and requirements specified in the order.

Vizuálna kontrola a rozmery vyhoveli (100 %).
Visual inspection and dimensional check without objections (100 %).

Miesto v Podbrezovej
Location Taz

Dátum 12.03.2020
Date

Závodný znalec
Works Inspector

Ing. Vojtas Miroslav

Železiarne Podbrezová s.r.o., Kolárňá 15, 975 81 Podbrezová, Slovenská Republika
Phone: +421 48 645 3031, Fax: +421 48 645 3032, www.zeleziarne.sk
CIN: 31 562 141, VAT No: SK2020458704
Bank account: Slovenská sporiteľňa, a.s., IBAN: SK69 0900 0000 0000 7990 0006, SWIFT (BIC): GIBASKBX
Registered in Register of Business Names in the District Court Bratislava 1, Section Sa, Entry No. 49/5



Příloha 9 – Atest přidavného materiálu



Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

U Slinice 949/11
16100 PRAHA 614
Tschechische R.

Werkzeugnis 2.2
Test Report 2.2

nach / as per : EN 10204
Nr. No. : 2013-2002223508-900003-003
Rev. 0 Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4501974204	vom / of 24.05.2013
Auftrags-Nr.	Order no.	1002131282	
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	2002223508/000030/900003	vom / of 24.05.2013
Produkt	Product	WIG-Stab/-Draht / GTAW rod/wire	201000 10200
Handelsname	Trade name	BOEHLER EMK 6	2002223508 0003
Normbezeichnung	Standard designation	EN ISO 636-A: W 42 5 W3Si1 AWS A5.18: ER70S-6	
Abmessung	Dimension	1,6 x 1000 mm	
Charge	Heat no.	443960	
Liefermenge	Quantity	75,0 KG	

Chemische Analyse in % des Produktes

Chemical composition in % of the product

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Al	Zr		
0,10	0,83	1,45	0,009	0,015	0,04	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

Mechanische Gütewerte

Mechanical properties

Zugversuch Probenvorbereitung		Tensile test Specimen preparation				nach / according to : EN ISO 6892-1/09 nach / according to : EN 876	
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks
20°C	≥ 420		500 - 640	≥ 20			
Kerbschlagbiegeversuch Probenvorbereitung		Impact test Specimen preparation			nach / according to : EN ISO 148-1/10 nach / according to : EN 875 VWT 0/b		
T	Kerbschlagarbeit Impact energy KV / J	Mittelwert Average KV / J	Laterale Breitung Lateral expansion mm	Duktiler Bruchanteil Shear fracture %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks	
-50°C	≥ 47						
20°C	≥ 100						

Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.
This certificate was issued by CP-equipment and does not require signature

/ Town Datum / Date
pfenberg 28.05.2013

Abnahmebeauftragter / Authorized representative
Fiedler

Boehler Schweißtechnik Austria GmbH


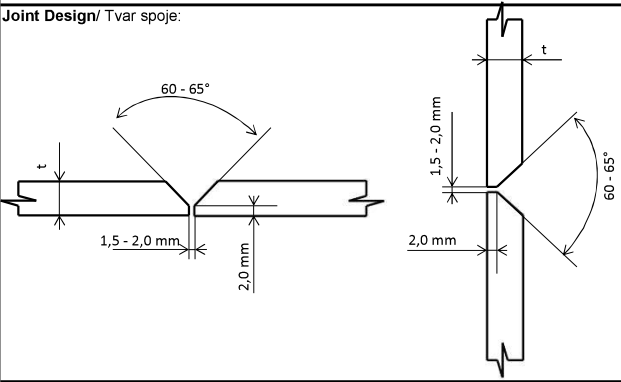
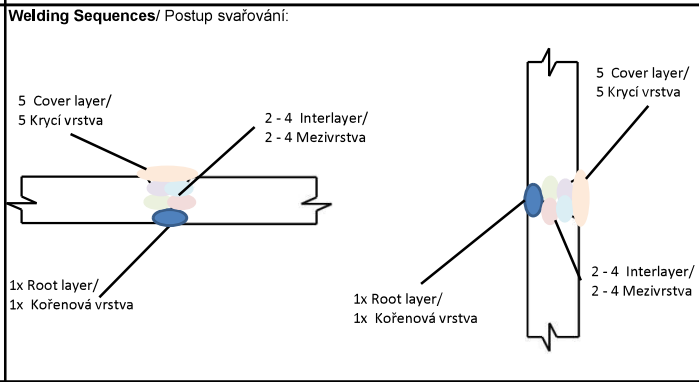
Waldviertelstr. 1 | 4880 Kapfenberg
Austria
+43 38 62-3650
+43 38 62-365-05183
welding@btpa.com

Bankdaten:
SW-CODE BANK Austria AG, 3310 0140
BIC: 330901 BIC: BOA1234567
EQR: RFR 01/10 761 100 | BAH: A184 1106 6152 1078 4100
USD: A/c: 01216 761 100 | BAH: A184 1106 6152 1078 4100

Registrierungsnummer: FN 173602 N | ATU: 27116017 | DVR: 000-348

FULFILLING HIGH DEMANDS


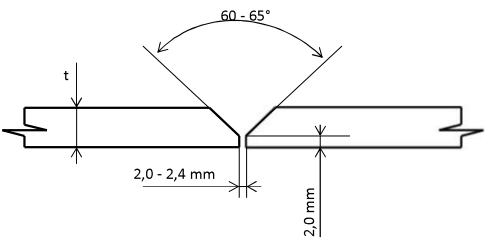
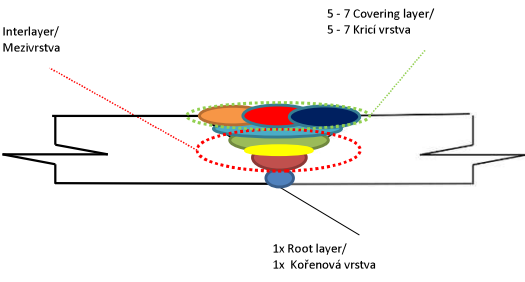



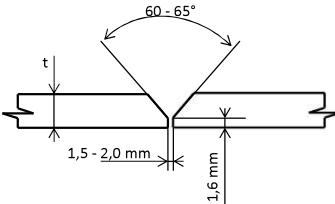
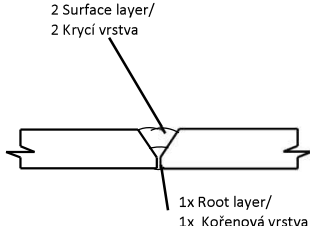
	WPS Welding Procedure Specification Specifikace svařovacího postupu	WPS No./WPS č.: VP15-2 Rev.: 1						
		Date/ Datum: 30.09.2021 Pg./ Str.: 1						
Welding Process/ Metoda: 141 WIG/TIG dle EN ISO 4063 Type of Weld/ Typ svaru: Tupy; BW Backing/ Podložka: Ne/ No Other/ Ostatní: - Welded place/ Místo svařování: Bosch Rexroth, spol. s r.o.		WPQR: WPQR VP15/2017: 617030/01 Application/ Aplikace: WPQR VP15-2/30. 9. 2021; 14.062.427 EN ISO 15614-1 PED 2014/68/EU						
Base material/ Základní materiál: Material 1: E355 dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 2.1 Outside Diam./ Vnější Ø: 25,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 3,0 - 12,0 mm to/ k: Material 2: E355 dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 2.1 Outside Diam./ Vnější Ø: 25,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 3,0 - 12,0 mm Remark/ Poznámka: [např. označení dle ČSN EN 10 027-1]								
Filler Material/ Přídavný materiál Classification/ Klasifikace: EN ISO 636-A; W 42 5 W3Si1 Designation/ Označení: Böhler EMK6 Size/ Velikost; Průměr: Ø2,0 mm Ø2,4 mm Name-Type of Flux/ Jméno a typ tavidla: - Drying of Filler Material/ Sušení svar. mat.: - Replace/ Náhrada: - Remark/ Poznámka: -		Gas/ Plyn: Name/ Název l/ min 1. Shielding/ O. svaru: Argon 4.6; EN ISO 14175-I1 12,0 1. Backing/ O. kořene: Formovací plyn N2 90%; H2 10% (N5) 8,0 1. Trailing/ Dodatečná: - - 1. Remark/ Poznámka: Formovací plyn dle EN ISO 14175						
Joint Design/ Tvar spoje: 		Welding Sequences/ Postup svařování: 						
Preheat/ Předehřev Preheat Temp./ Teplota předehřevu: > 10° °C Interpass: < 315° °C Post Heating/ Dohřev: No/ Ne °C		Cooling after welding/ Ochlazení po svaření: Air/ Vzduch Temperatur control/ Kontrola teploty: No/ Ne Remark/ Poznámka: -						
Post weld heat treatment/ Tepelné zpracování po svařování								
Type/ Typ	Temperature/ Teplota °C	Time/ Čas hod	Heating rate/ Rychlost ohřevu °C/hod	Cooling rate/ Rychlost ochlazování °C/hod				
Technique/ Technika svařování EN ISO 6848 - WC 20 Tungsten El./ Wolframová elektroda: Ø 2,4 mm Edge preparation/ Příprava úkosu: Třískové obrábění; Broušení Method of cleaning/ Metoda čištění: Ocel. kartáč; Brusné kotouče Method of back gouging/ Drážkování kořene: - Remark/ Poznámka: Typ přenosu kovu: -								
Welding parameters/ Svařovací parametry								
Layer/s [Vrstva]	Process [Metoda]	Filler material/ Přídavný materiál	Polarita [DC/AC]	Proud [A]	Napětí [V]	Posuv drátu [cm/ min]	Rychlost posuvu [cm/ min]	Remark/ Poznámka
1	141	2,0 W 42 5 W3Si1	DC-	110	14,6	-	-	-
2	141	2,4 W 42 5 W3Si1	DC-	105	14,1	-	-	-
3	141	2,4 W 42 5 W3Si1	DC-	105	14,1	-	-	-
4	141	2,4 W 42 5 W3Si1	DC-	105	14,1	-	-	-
5	141	2,4 W 42 5 W3Si1	DC-	105	14,1	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
Remarks/ Poznámky: Tento postup svařování se používá i pro opravu svarů./ This WPS is also used for repair of welds.								

Tack welding shall be performed accordance with WPS.
 Not peening during and after welding.

Created (Name; Date; Signature)
 Vytvořil (Jméno; datum; podpis)

Approved (Name; Date; Signature)
 Schválil (Jméno; datum; podpis)

	WPS Welding Procedure Specification Specifikace svařovacího postupu				pWPS No./pWPS č.: VP29 Rev.: 0															
	Date/ Datum: 10.05.2022		Pg./ Str.: 1																	
Welding Process/ Metoda: 141 WIG/TIG dle EN ISO 4063 Type of Weld/ Typ svaru: Tupy; BW Backing/ Podložka: Ne/ No Other/ Ostatní: - Welded place/ Místo svařování: Bosch Rexroth, spol. s r.o.		WPQR: 14.402.713-2 Application/ Aplikace: EN ISO 15614-1: 2005 PED 2014/68/EC																		
Base material/ Základní materiál: Material 1: P355NH dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 1.2 Outside Diam./ Vnější Ø: 45,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 7,1 - 28,0 mm to/ k: Material 2: P355NH dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 1.2 Outside Diam./ Vnější Ø: 45,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 7,1 - 28,0 mm Remark/ Poznámka: [např. označení dle ČSN EN 10 027-1]																				
Filler Material/ Přídavný materiál Classification/ Klasifikace: EN ISO 636-A; W 42 5 3Si1 Designation/ Označení: Böhler EMK6 Size/ Velikost; Průměr: Ø2,4 mm Ø3,0 mm Name-Type of Flux/ Jméno a typ tavidla: - Drying of Filler Material/ Sušení svař. mat.: - Replace/ Náhrada: - Remark/ Poznámka:		Gas/ Plyn: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Name/ Název</th> <th>l/min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Shelding/ O. svaru:</td> <td>Argon 4.6; EN ISO 14175-I1</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>1. Backing/ O. kořene:</td> <td>Formovací plyn N2 90%; H2 10% (N5)</td> <td>5 - 8</td> </tr> <tr> <td>1. Trailing/ Dodatečná:</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>1. Remark/ Poznámka:</td> <td>Formovací plyn dle EN ISO 14175</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Position/ Pozice: PC, PH, PA; EN ISO 6947					Name/ Název	l/min	1. Shelding/ O. svaru:	Argon 4.6; EN ISO 14175-I1	18	1. Backing/ O. kořene:	Formovací plyn N2 90%; H2 10% (N5)	5 - 8	1. Trailing/ Dodatečná:	-	-	1. Remark/ Poznámka:	Formovací plyn dle EN ISO 14175	
	Name/ Název	l/min																		
1. Shelding/ O. svaru:	Argon 4.6; EN ISO 14175-I1	18																		
1. Backing/ O. kořene:	Formovací plyn N2 90%; H2 10% (N5)	5 - 8																		
1. Trailing/ Dodatečná:	-	-																		
1. Remark/ Poznámka:	Formovací plyn dle EN ISO 14175																			
Joint Design/ Tvar spoje: 		Welding Sequences/ Postup svařování: 																		
Preheat/ Předehřev Preheat Temp./ Teplota předehřevu: > 10° °C Interpass: < 315° °C Post Heating/ Dohřev: No/ Ne °C		Cooling after welding/ Ochlazení po svaření: Air/ Vzduch Temperatur control/ Kontrola teploty: No/ Ne Remark/ Poznámka: -																		
Post weld heat treatment/ Tepelné zpracování po svařování																				
Type/ Typ: -		Temperature/ Teplota: °C		Time/ Čas: hod	Heating rate/ Rychlost ohřevu: °C/hod	Cooling rate/ Rychlost ochlazení: °C/hod														
Technique/ Technika svařování: EN ISO 6848 - WC 20 Tungsten EI./ Wolframová elektroda: Ø 2,4 mm Edge preparation/ Příprava úkosu: Trískové obrábění; Broušení Method of cleaning/ Metoda čištění: Ocel. kartáč; Brusné koutouče Method of back gouging/ Drážkování kořene: - Remark/ Poznámka: Typ přenosu kovu: -		Type: Type of bead/ Tvar housenky: 1. Straight/ Rovná 2. - Weaving/ Rozkvyv: 1. - 2. - Pulsing/ Pulzace: 1. - 2. - Oscillation/ Oscilace: 1. - 2. -																		
Welding parameters/ Svařovací parametry																				
Layer/s [Vrstva]	Process [Metoda]	Filler material/ Přídavný) material Ø (mm)	Classification/ Klasifikace	Polarita [DC/AC]	Proud [A]	Napětí [V]	Posuv drátu [cm/ min]	Rychlost posuvu [cm/ min]	Remark/ Poznámka											
1	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	104	10,8	-	-	-											
2	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	120	12,0	-	-	-											
3	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	150	13,5	-	-	-											
4	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	170	13,4	-	-	-											
5	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	145	11,9	-	-	-											
6	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	140	11,9	-	-	-											
7	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	140	11,9	-	-	-											
8	141	3,0	W 42 5 3Si1	DC-	140	11,9	-	-	-											
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
Remarks/ Poznámky:																				

		WPS Welding Procedure Specification Specifikace svařovacího postupu			pWPS No./pWPS č.: VP30 Rev.: 0				
		Date/ Datum: 10.05.2022			Pg./ Str.: 1				
Welding Process/ Metoda: 141 WIG/TIG dle EN ISO 4063 Type of Weld/ Typ svaru: Tupy; BW Backing/ Podložka: Ne/ No Other/ Ostatní: - Welded place/ Místo svařování: Bosch Rexroth, spol. s r.o.				WPQR: 14.402.714-2 Application/ Aplikace: EN ISO 15614-1:2005 PED 2014/68/EC					
Base material/ Základní materiál: Material 1: E355+N dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 1,2 Outside Diam./ Vnější Ø: 25,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 2,1 - 6,0 mm to/ k: Material 2: E355+N dle EN 10305-4 Group/ Sk.: 1,2 Outside Diam./ Vnější Ø: 25,0 - ∞ mm Thickness/ Tloušťka: 2,1 - 6,0 mm Remark/ Poznámka: [např. označení dle ČSN EN 10 027-1]									
Filler Material/ Přídavný materiál Classification/ Klasifikace: EN ISO 636-A; W 42 5 3Si1 Designation/ Označení: Böhler EMK6 Size/ Velikost; Průměr: Ø2,4 mm - mm Name-Type of Flux/ Jméno a typ tavidla: - Drying of Filler Material/ Sušení svař. mat.: - Replace/ Náhrada: - Remark/ Poznámka: -				Gas/ Plyn: Name/ Název l/ min 1. Shielding/ O. svaru: Argon 4.6 ; EN ISO 14175-1 12 1. Backing/ O. kořene: Formovací plyn N2 90%; H2 10% (N5) 5 - 8 1. Trailing/ Dodatečná: - - 1. Remark/ Poznámka: Formovací plyn dle EN ISO 14175					
Joint Design/ Tvar spoje: 				Welding Sequences/ Postup svařování: 					
Preheat/ Předehřev Preheat Temp./ Teplota předehřevu: > 10° °C Interpass: < 315° °C Post Heating/ Dohřev: No/ Ne °C				Cooling after welding/ Ochlazení po svaření: Air/ Vzduch Temperatur control/ Kontrola teploty: No/ Ne Remark/ Poznámka: -					
Post weld heat treatment/ Tepelné zpracování po svařování									
Type/ Typ		Temperature/ Teplota °C		Time/ Čas hod		Heating rate/ Rychlost ohřevu °C/hod			
Technique/ Technika svařování EN ISO 6848 - WC 20 Tungsten El./ Wolframová elektroda: Ø 2,4 mm Edge preparation/ Příprava úkosu: Trískové obrábění; Broušení Method of cleaning/ Metoda čištění: Ocel. kartáč; Brusné kotouče Method of back gouging/ Drážkování kořene: - Remark/ Poznámka: Typ přenosu kovu: -									
Welding parameters/ Svařovací parametry									
Layer/s [Vrstva]	Process [Metoda]	Filler material/ Přídavný materiál Ø (mm)	Classification/ Klasifikace	Polarita [DC/AC]	Proud [A]	Napětí [V]	Posuv drátu [cm/ min]	Rychlost posuvu [cm/ min]	Remark/ Poznámka
1	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	70	10,4	-	-	-
2	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	65	10,4	-	-	-
3	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	65	10,4	-	-	-
4	141	2,4	W 42 5 3Si1	DC-	65	10,4	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Remarks/ Poznámky:									

Tab. 1 Měření vzorku 38,0 x 4,0 P355+N

Datum měření: 24. 3. 2022, svářeč č. 2, Popis součásti: 38,0 x 4,0 P355+N		
Doba trvání [hh:mm:ss]:	Popis úkonu	Kategorie
0:07:00	řezání 2x	řezání
0:01:40	Příprava náradí pro úkosování, úkosovačka	příprava
0:02:20	úkosování	příprava
0:03:20	broušení návarové hrany	příprava
0:02:00	odmaštění, čištění	příprava
0:02:00	kontrola dokumentace	příprava
0:05:00	ustavení součásti, stehování	svařování
0:02:00	stehování součásti k přípravku	svařování
0:09:30	upnutí, lepicí páska, přípravek pro formovací plyn	svařování
0:02:30	svařování 1. vrstva	svařování
0:03:20	svařování 2. vrstva	svařování
0:10:00	chladnutí	svařování
0:06:00	svařování 3. vrstva	svařování
0:03:00	kontrola svaru, úklid	svařování
0:01:00	odříznutí kusu od přípravku	svařování

Tab. 2 Shrnutí doby svařování vzorku 38,0 x 4,0 P355+N

Celková doba trvání [hh:mm:ss]:	Kategorie
0:07:00	řezání
0:11:20	příprava
0:42:20	svařování
1:00:40	celkový čas

Tab. 3 Měření vzorku 114,5 x 3,6 P355+N

Datum měření: 24. 3. 2022, svářeč č. 2, Popis součásti: 114,5 x 3,6 P355+N		
Doba trvání [hh:mm:ss]:	Popis úkonu	Kategorie
0:11:40	řezání 2x	řezání
0:02:40	příprava náradí pro úkosování, úkosovačka	příprava
0:02:20	úkosování	příprava
0:05:20	broušení návarové hrany	příprava
0:02:00	odmaštění, čištění	příprava
0:05:50	ustavení součásti, stehování	svařování
0:02:50	příprava svářečky a polohovadla	svařování
0:01:00	stehování součásti k přípravku	svařování
0:08:40	upnutí, lepící páska, přípravek pro formovací plyn	svařování
0:11:40	svařování 1. vrstva	svařování
0:04:25	chladnutí	svařování
0:12:45	svařování 2. vrstva	svařování
0:05:00	chladnutí	svařování
0:01:50	kontrola svaru, úklid	svařování
0:02:20	odříznutí kusu od přípravku	svařování

Tab. 4 Shrnutí doby svařování vzorku 114,5 x 3,6 P355+N

Celková doba trvání [hh:mm:ss]:	Kategorie
0:11:40	řezání
0:12:20	příprava
0:56:20	svařování
1:20:20	celkový čas

Tab. 5 Měření vzorku 60,3 x 10,0 P355+N

Datum měření: 24. 3. 2022, svářeč č. 1, Popis součásti: 60,3 x 10,0 P355+N		
Doba trvání [hh:mm:ss]:	Popis úkonu	Kategorie
0:11:30	řezání 2x	řezání
0:03:30	příprava náradí pro úkosování, úkosovačka	příprava
0:11:40	úkosování	příprava
0:05:50	broušení návarové hrany	příprava
0:02:50	odmaštění, čištění	příprava
0:04:10	ustavení součásti, stehování	svařování
0:01:50	stehování součásti k přípravku	svařování
0:05:10	upnutí, lepicí páska, přípravek pro formovací plyn	svařování
0:10:40	svařování 1. vrstva	svařování
0:03:20	kontrola svaru, očištění	svařování
0:09:30	svařování 2. vrstva	svařování
0:02:00	chladnutí	svařování
0:05:30	svařování 3. vrstva	svařování
0:10:00	chladnutí	svařování
0:07:20	svařování 4. vrstva	svařování
0:02:40	chladnutí	svařování
0:07:50	svařování 5. vrstva	svařování
0:05:50	chladnutí	svařování
0:07:50	svařování 6. vrstva	svařování
0:07:00	svařování 7. vrstva	svařování
0:05:00	chladnutí	svařování
0:01:00	kontrola svaru, odepnutí kusu, úklid	svařování

Tab. 6 Shrnutí doby svařování vzorku 60,3 x 10,0 P355+N

Celková doba trvání [hh:mm:ss]:	Kategorie
0:11:30	řezání
0:23:50	příprava
1:36:40	svařování
2:12:00	celkový čas

Tab. 7 Měření vzorku 76,1 x 13,0 P355+N

Datum měření: 28. 3. 2022, svářeč č. 1, Popis součásti: 76,1 x 13,0 P355+N		
Doba trvání [hh:mm:ss]:	Popis úkonu	Kategorie
0:11:30	řezání 2x	řezání
0:01:50	příprava náradí pro úkosování, úkosovačka	příprava
0:09:40	úkosování	příprava
0:01:45	úklid úkosovačky – úklid třísek	příprava
0:05:50	broušení návarové hrany	příprava
0:03:40	broušení úkosu	příprava
0:01:45	odmaštění, čištění	příprava
0:07:30	ustavení součásti, stehování	svařování
0:05:20	upnutí, lepicí páska, přípravky pro formovací plyn	svařování
0:18:00	svařování 1. vrstva	svařování
0:03:00	kontrola svaru, měření teploty	svařování
0:09:30	svařování 2. vrstva	svařování
0:01:20	kontrola teploty, očištění svaru	svařování
0:02:10	chladnutí	svařování
0:08:00	svařování 3. vrstva	svařování
0:05:00	chladnutí	svařování
0:12:20	svařování 4. vrstva	svařování
0:07:50	svařování 5. vrstva	svařování
0:04:50	chladnutí	svařování
0:09:00	svařování 6. vrstva	svařování
0:13:00	chladnutí	svařování
0:09:00	svařování 7. vrstva	svařování
0:09:20	svařování 8. vrstva	svařování
0:01:20	kontrola svaru, odepnutí kusu, úklid	svařování

Tab. 8 Shrnutí doby svařování vzorku 76,1 x 13,0 P355+N

Celková doba trvání [hh:mm:ss]:	Kategorie
0:11:30	řezání
0:24:30	příprava
2:06:30	svařování
2:42:30	celkový čas