



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTI "PALIVOVÝ ČLÁNEK"

WELDING TECHNOLOGY OF THE "FUEL CELL" COMPONENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Jakub Vaculka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jakub Vaculka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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:

Technologie svařování součásti „palivový článek“

v anglickém jazyce:

Welding technology of the "fuel cell" component

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Svařování vysokolegovaných korozivdorných ocelí je možné mnoha technologiemi. Práce je zaměřená na svařování svařence palivového článku s výběrem metod svařování TIG, MIG/MAG a CMT.

Cíle diplomové práce:

1. Popis funkce palivového článku, rozbor požadavků na jakost
2. Návrh experimentální části se zaměřením na výběr možných metod svařování
3. Výběr a hodnocení svařitelnosti žáruvzdorné korozivdorné oceli
4. Experimentální ověření zvolených metod svařování, včetně ověření parametrů svařování
5. Technicko-ekonomické vyhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tento projekt je zaměřen na výběr optimální metody svařování pro součást „palivový článek“ v podmínkách strojírenské firmy VN-Ú s.r.o. Cílem je srovnání metod, které má tato společnost k dispozici tedy: TIG, MIG/MAG, a CMT. Nezbytné je rozebrat specifika jednotlivých technologií a provozní podmínky, kterým bude součást při užívání vystavena. Pro srovnání metod jsou použity nedestruktivní zkoušky součástí a destruktivní zkoušky zhotovených vzorků. Ekonomické zhodnocení slouží k porovnání nákladů na svaření součástí jednotlivými metodami a k posouzení případné investice do CMT zařízení, které si firma dosud pouze pronajímala.

Klíčová slova

Palivový článek, svařování, TIG, MIG/MAG, CMT, žáruvzdorná, korozivzdorná, ocel

ABSTRACT

The project aimed at the selection of the optimal welding method for a „fuel cell“ component in terms of the VN-Ú Ltd engineering company. The goal is to compare the methods available in VN-Ú, that is: TIG, MIG/MAG and CMT. It is necessary to analyze the specifics of each of the technologies and the operation conditions which the component will be exposed to. For the comparison of the methods, non-destructive testing of the components, as well as destructive tests of the produced samples have been used. The economic evaluation has been used to compare the costs of different welding methods of the components and to assess the potential investments in CMT device that has only been leased by VN-U so far.

Key words

Fuel cell, welding, TIG, MIG/MAG, CMT, heat-resistant, stainless, steel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VACULKA, Jakub. *Technologie svařování součástí „Palivový článek“*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 92 s. 4 přílohy. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologie svařování součástí "palivový článek"** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Jakub Vaculka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále také děkuji firmě VN-Ú s.r.o., Vsetín za poskytnutý materiál, výrobu vzorků a ochotnou spolupráci při předávání praktických zkušeností.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 O společnosti.....	11
2 Technologie pomalého termického rozkladu.....	13
2.1 Princip procesu.....	13
2.2 Popis součásti	13
3 Technologie svařování.....	14
3.1 Základní pojmy tavného svařování.....	14
3.2 Základní druhy svarových spojů.....	15
4 Svařování elektrickým obloukem.....	15
4.1 Svařování metodou TIG (WIG).....	16
4.2 Svařování metodou MIG/MAG	24
4.3 Svařování metodou CMT.....	28
5 Svařitelnost	33
5.1 Charakteristika použitého základního materiálu	33
5.2 Charakteristika použitého přídavného materiálu	34
5.3 Svařitelnost vysokolegovaných ocelí.....	34
6 Návrh experimentu	38
6.1 Rozbor stávající situace	38
6.1.1 Výrobní cyklus.....	38
6.1.2 Pracoviště	38
6.2 Požadavky kladené na součást.....	39
6.3 Cíle experimentu.....	40
6.4 Navrhované zkoušky.....	40
6.4.1 Navrhované zkoušky součástí.....	40
6.4.2 Navrhované zkoušky vzorků.....	41
7 Experiment.....	41
7.1 Vyrobené součásti a použité postupy.....	41
7.1.1 Součásti vyrobené TIG – TIG.....	42
7.1.2 Součásti vyrobené TIG-MAG.....	43
7.1.3 Součásti vyrobené TIG – CMT.....	45

7.2 Zkoušky těsnosti součástí	47
7.2.1 Zkouška kapilární (penetrační) průsaková	47
7.2.2 Zkouška tlaková	48
7.3 Zkoušky mechanických vlastností vzorků	49
7.3.1 Příčná zkouška tahem (ČSN EN 895)	49
7.3.2 Zkouška lámavosti (ČSN EN 910)	54
7.3.3 Zkouška rozlomením (ČSN EN 1320)	60
7.3.4 Makroskopická kontrola svarů	65
7.3.5 Mikroskopická kontrola svarů	69
7.4 Shrnutí experimentu	72
8 Technicko-ekonomické vyhodnocení	73
8.1 Náklady vstupující do procesu	73
8.2 Náklady společné	75
8.2.1 Přímé náklady společné pro všechny varianty	75
8.3 Náklady na kus – TIG – TIG	77
8.3.1 Přímé náklady na kus TIG – TIG	77
8.3.2 Nepřímé náklady na kus TIG – TIG	78
8.4 Náklady na kus – TIG-MAG	79
8.4.1 Přímé náklady na kus TIG – MAG	79
8.4.2 Nepřímé náklady na kus TIG – MAG	81
8.5 Náklady na kus – TIG – CMT	82
8.5.1 Přímé náklady na kus TIG – CMT	82
8.5.2 Nepřímé náklady na kus TIG – CMT	84
8.6 Návratnost investice do CMT	85
8.7 Shrnutí technicko-ekonomického hodnocení	85
ZÁVĚR	86
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	87
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	90

ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na výběr optimální metody svařování pro součást „palivový článek“ v podmínkách strojírenské firmy VN-Ú s.r.o. Cílem je srovnání metod, které má tato společnost k dispozici tedy: MIG/MAG, TIG a CMT

Součást „palivový článek“ je ústřední komponentou komplexního systému pro zpracování komunálního a některých druhů nebezpečného odpadu. Toto zařízení bylo vyvinuto v letech 2007-2012 firmou Simul Trust s.r.o. se sídlem ve Vratimově. Hlavním účelem tohoto zařízení je efektivní a ekologicky šetrné zpracování materiálů jako odpadky, použité pneumatiky, čistírenské kaly, trus zvířat a podobně. Celá tato technologie je založena na principu pomalého termického rozkladu. Ten umožňuje nejen odpadový materiál šetrně zlikvidovat, ale také jeho efektivní využití k výrobě tepla a elektrické energie. Zařízení vykazuje podstatně vyšší účinnost než konvenční spalovny, je méně náročné na prostory a obslužnou technologii. Celý systém je koncipován jako stabilní zařízení, ale díky kontejnerové koncepci je možné jeho poměrně snadné přemísťování. Vstupní materiály je tímto procesem možné přepracovat na tři organické složky, které lze snadno využít k výrobě elektrické energie a tepla. Tyto látky jsou certifikovány jako paliva nebo chemické suroviny a jejich využitelnost tak není komplikována riziky s jejich nakládáním. Jejich využitelnost není vázána na místo zpracování. Tento fakt sám o sobě poskytuje velkou volnost využití produktů rozkladu a dále tak zvyšuje míru efektivnosti jejich využití. [1], [2].



Obr. 1 Palivový článek [2]

1 O SPOLEČNOSTI

Firma VN-Ú s.r.o. vznikla 1.7.1993 po rozdělení státního podniku MEZ Vsetín. Do roku 1998 byl platným názvem firmy VN-Údržba spol. s r.o. a hlavním zaměřením byly oprava a údržba obráběcích strojů. V následujícím roce se majitelem firmy stal jeden z původních společníků pan Ladislav Vaculka. V návaznosti na změnu vedení došlo také ke změně zaměření na výrobní činnost. Hlavní výrobní náplní společnosti je zpracování plechů CNC technologií – dělení laserem, ohýbání na CNC ohraňovacích lisech, lisování, svařování plechů a profilů, elektroerozivní řezání a kovoobráběčství. [3]

Své produkty firma dodává jak na tuzemský, tak na zahraniční trh – zejména do Německa, Rakouska, Švédska a Švýcarska. [3]

V současné době firma dosahuje velmi dobrých ekonomických výsledků se vzestupnou tendencí, což se projevuje ve zlepšování technického zázemí a pracovního prostředí. [3]

Název firmy: VN - Ú s. r. o.

Adresa: ul. 4. května 857 Vsetín

Zákl. jmění: 4,02 mil. Kč

Počet zaměstnanců: 50

Výrobní prostory: 2000 m²

Certifikáty: ČSN EN ISO 9001 : 2001, ČSN EN ISO 3834-2 : 1996

Předmět činnosti:

- kompletní zpracování plechů CNC technologií (laser, nůžky, ohraňovací lisy, vysekávačka),
- ohýbání, stáčení, lisování,
- svařování ocelových, nerezových i hliníkových plechů a profilů,
- elektroerozivní řezání, kovoobráběčství,
- konstrukční práce.

Zaměření výroby:

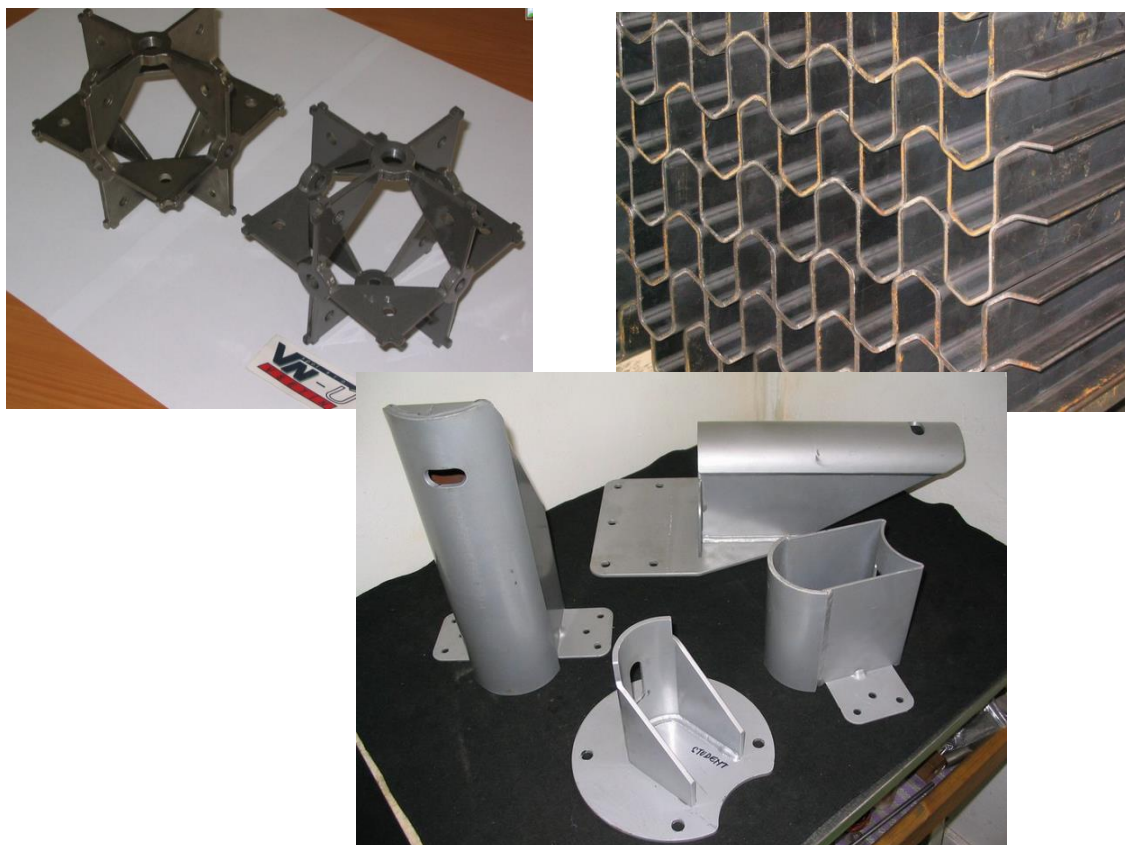
- výroba tvarových a střížných lisovacích přípravků, včetně zpracování návrhu a technické dokumentace,
- atypické profily,
- paletizační logistické systémy, tvarované prvky pro výrobu bočnic, závěsné systémy nosičů pro automobilový průmysl,
- digestoře, stoly, skříně, svícny, rámy, zábradlí, kryty.

Strojní park:

- laser TRUMATIC TC L 3530,
- CNC ohraňovací lis TRUMPF CNC Tru Bend 5170, SAFAN,
- vysekávací stroj s revolverovým zásobníkem EM-3510 NT / EM-3610 NT,
- AGIE Cut (elektroerozivní řezání s rozjezdy 250x250x400 mm),
- lisy výstředníkové (25–180 tun), hydraulické (40–160 tun), ohraňovací.



Obr. 2 Sídlo společnosti [3]



Obr. 3 Ukázky výroby [3]



Obr. 4 Logo společnosti [3]

2 TECHNOLOGIE POMALÉHO TERMICKÉHO ROZKLADU

2.1 Princip procesu

Principem technologie pomalého termického rozkladu je ohřev organických látek na teploty 480-600 °C, kdy je zároveň zamezeno přístupu vzduchu. V palivovém článku, kde tento proces probíhá, dochází také k výše zmíněnému rozkladu vstupních surovin na plynnou, kapalnou a pevnou frakci. Tato technologie bývá často zaměňována s pyrolýzou, oproti ní však má vyšší účinnost využití tepla. Částečně se jedná o modifikaci tzv. suché destilace používané za 2 světové války, kdy byl kvůli nedostatku ropy z uhlí vyráběn topný olej schopný pohánět diesellové agregáty. Velkým rozdílem je však fakt, že pomalý termický rozklad dosahuje kladné energetické bilance. Tedy vyrobí více energie, než spotřebává pro svůj provoz. Pevnou frakcí je v podstatě aktivní uhlí, které je možno využít pro výrobu průmyslových filtrů. Frakce kapalná a plynná jsou vhodné pro výrobu elektrické energie například v kombinaci s kogeneračními jednotkami. [1], [2]



Obr. 5 Fotografie pece (vlevo) a chladiče plynů [2]

Prvním krokem procesu je vložení palivového článku (popř. článků) naplněného drceným odpadem do pece. Zde je pomocí elektrické energie zajištěn pomalý ohřev vstupních materiálů. Nevznikají zde tedy žádné emise od plynových hořáků a podobně. Produktivní část procesu trvá přibližně 120 minut. Pro dosažení vysoké efektivity procesu je důležitý rovnoměrný prostup tepla. Vznikající plyny jsou z pracovního prostoru článku kontinuálně odváděny, ochlazovány a uloženy do zásobníků. Do okolní atmosféry tedy žádný plyn neuniká. Po vytažení článku z pece se proces samovolně zastaví. [1], [2]

2.2 Popis součásti

Samotný palivový článek je nádoba obdélníkového průřezu o objemu cca 350 litrů. Přesný objem závisí na zvolené rozměrové řadě. Tyto řady byly na doporučení firmy VN-Ú s.r.o. voleny tak, aby nebylo nutné použít atypický rozměr polotovaru, a tím nedocházelo ke zvyšování nákladů a komplikacím se zásobováním. [2]

Z konstrukčního hlediska se jedná o svařenec. Materiál byl zvolen 1.4845 (X8CrNi25-21), tedy žáruvzdorná korozivzdorná ocel. Síla materiálu je 3 mm a na celé součásti je asi 50 metrů svarů. Z celkové délky je asi 70 % svarů natupo, 20 % přeplátovaných a zbylých

10 % koutových, kde se součásti stýkají svými okraji. Jednotlivé plechové díly jsou vyztuženy zpevňovacími prolisy a ohyby, horním otvorem pro plnění vstupním materiálem a bočním otvorem pro vysypávání pevných zbytků. Nezbytné bylo opatřit článek závěsnými oky a dalšími manipulačními prvky. Firma VN-Ú s.r.o. dostala od zákazníka (firma Simul trust s.r.o.) takřkajíc „volnou ruku“. Celé zadání tedy bylo velmi nekonkrétní a jednotlivá konstrukční řešení byla přizpůsobována podle měnících se potřeb v aktuálním stádiu vývoje celého projektu. Součástí palivového článku je potrubí pro separaci plynné a kapalné fáze, které je částečně vidět na následujícím obrázku. Další informace o vnitřním uspořádání součástí, případně technickou dokumentaci není v tomto okamžiku možné zveřejnit, jelikož jako celek podléhá obchodnímu tajemství. [2]

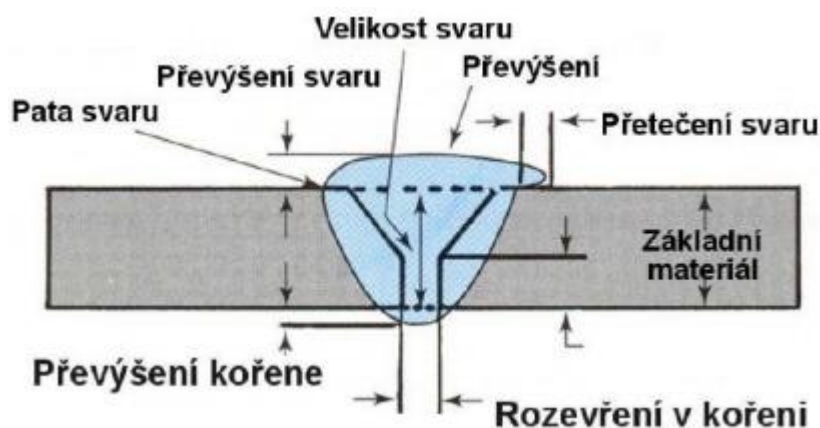


Obr. 6 Palivový článek [2]

3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

3.1 Základní pojmy tavného svařování

Tyto základní pojmy definuje norma ČSN 05 0000.



Obr. 7 Základní pojmy tavného svařování [4]

3.2 Základní druhy svarových spojů

Dle vzájemné polohy svařovaných dílů rozlišujeme 5 základních druhů svarů. [5]

Tupý svar (svar natupo)

Svařované díly jsou spojeny čelními plochami. Možné jsou tvary I, U, V, W popřípadě poloviční V, U, W. Kvůli dosažení dobrého průvaru kořene je nutné zachovat předepsanou svarovou mezeru. Pro materiály větších tloušťek je vhodné použít uvedené tvary oboustranně. Dosáhneme tak dobrého provaření kořene a malého rizika deformace. [5], [6]

Koutový svar

Jedná se o svar rohového, přeplátovaného nebo T uspořádání. V případě rohového spoje jsou svařované součásti umístěny pod úhlem a dotýkají se svými okraji. Přeplátovaný svar znamená, že součásti leží souběžně a částečně se překrývají. T spoj má své typické uspořádání, kdy se jeden díl pod úhlem přivařuje na povrch druhého dílu. Stejně jako u tupého svaru je možné získat plochý, vydutý nebo převýšený svar. [5], [6]

Bodový svar

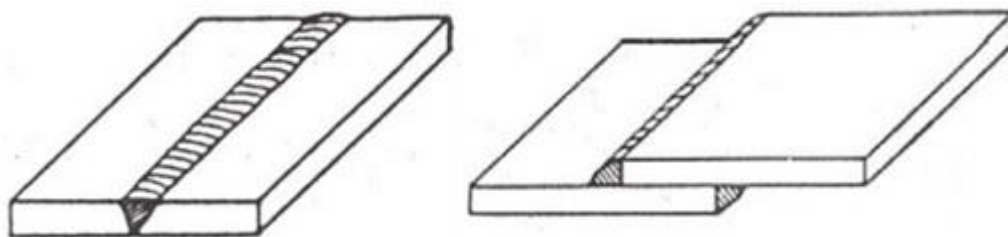
Používá se zejména u odporového svařování. Svařované díly jsou zde spojeny v jednotlivých bodech. [5], [6]

Lemový svar

Používá se pro tenké plechy. Vzniká svaření lemů plechových součástí. Často je realizován bez přídavného materiálu. [5], [6]

Děrový svar

V jedné ze spojovaných součástí je zhotoven otvor. Skrz tento otvor je realizován svár. [5],[6]



Obr. 8 Tupý svar (vlevo), přeplátovaný svar (vpravo) [7]

4 SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

Tento druh svařování je typický hořením oblouku, který je obklopen ochranným plynem. Význam ochranného plynu zde spočívá v ochraně elektrody, oblouku, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavné lázně proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku. Konkrétní technologie se liší druhem použité technologie a ochranného plynu. [5], [6]

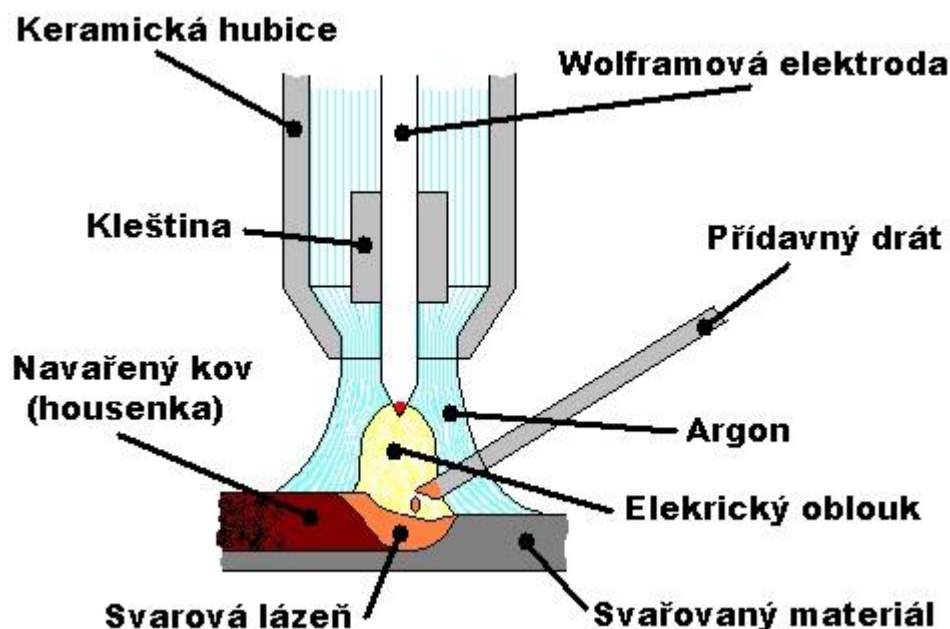
4.1 Svařování metodou TIG (WIG)

Tato metoda byla původně vyvinuta pro svařování silně reaktivních kovů, jako je hliník a podobně. Postupem času došlo k rozšíření možností použití i na slitiny železa a jiné konstrukční materiály. [5], [6], [8]

TIG a WIG jsou různá označení pro stejnou metodu svařování. Rozdíl je pouze v jazyku, ze kterého zkratky vznikly. Označení WIG vzniklo z německého Wolfram Inert Gas. Naproti tomu TIG pochází z anglického Tungsten Inert Gas. U nás je více používána zkratka TIG. [5], [6], [8]

Princip metody

Metoda TIG je charakteristická ochrannou atmosférou inertního (netečného) plynu, v níž hoří oblouk mezi netavnou wolframovou elektrodou a základním materiálem. Ochranným plynem je zde většinou argon, případně je možné použití hélia, dusíku nebo směsí Ar-He, Ar-H₂ a podobně. Použitý plyn musí mít vysokou čistotu, minimálně 99,995 %. Kromě čistoty je důležitá také rychlost proudění plynu. Příliš nízká rychlost způsobí, že plyn nestačí zabránit styku tekutého kovu se vzduchem. Příliš vysoká rychlost způsobí podtlak. Ochranný plyn tak bude přisávat vzduch a dojde ke stejnému znehodnocení svaru jako v předchozím případě. Optimální průtok se liší podle velikosti a konstrukce hořáku. Svou roli hraje také tvar spoje. Používané hodnoty se obvykle pohybují mezi 10 a 20 l/min. [5], [6], [8]



Obr. 9 Schéma TIG svařování [8]

Wolfram je jako materiál elektrody použit z důvodů své odolnosti proti vysokým teplotám. Díky tomu nedochází k jejímu odtavování. Kromě wolframu obsahuje zpravidla také do 2 % kysličníku thoria, který zlepšuje termoemisi elektronů. Důsledkem tohoto jevu je lepší ochlazování elektrody a vyšší odolnost proti proudovému zatížení. Vhodné je upravit konce elektrody do tvaru hrotu. Díky tomu dosáhneme lepšího soustředění oblouku, klidnějšího hoření a větší hloubky provaření. [5], [6], [8], [10]

Hlavice hořáku je vybavena kleštinou, která zajišťuje upnutí wolframové elektrody. Touto kleštinou je do elektrody přenášen svařovací proud. Proudění plynu skrz hubici hořáku zajišťuje inertní atmosféru kolem místa svařování, chrání tavnou lázeň před přístupem vzduchu a usnadňuje zapalování oblouku. [5], [6], [8], [10]

TIG svařování je možné s přídavným materiálem nebo bez přídavného materiálu. V případě bez použití přídavného materiálu dochází k roztavení a slití základních materiálů. Varianta svařování s přídavným materiálem využívá kovových tyčinek nebo drátů. Přídavný materiál má obvykle podobné složení jako základní materiál. Metoda TIG je používána jak pro ruční tak automatizované aplikace. Při ručním svařování drží svářeč v jedné ruce hořák a v druhé ruce přídavný materiál. Přidávání kapek přídavného materiálu do lázně vyžaduje určitý cvik. Další možností je částečná mechanizace. Zde je přídavný materiál ve formě drátu podáván pomocí podavače, který je ovládán tlačítkem na hořáku. V případě plné automatizace je hořák spojen s manipulačním zařízením (ramenem, pojezdem apod.) a pohyby včetně podávání přídavného materiálu, jsou ovládány řídicím systémem. [5], [6], [8], [10]

Výhody TIG [5], [6], [8], [10]:

- vysoká teplota oblouku umožňuje svařovat materiály s vysokou teplotou tavení (např. vysokolegované oceli),
- malá tepelně ovlivněná oblast díky velmi úzkému teplotnímu poli a zároveň velká hloubka závaru,
- perfektní kontrola nad svarovou lázní. Díky tomu, že nedochází ke stálému přísunu přídavného materiálu, je možné ovlivnit svarovou lázeň a tím vlastnosti svarového spoje,
- 100 % shodné chemické složení svaru a základního materiálu při svařování bez přídavného materiálu,
- elektrický oblouk lze prodlužovat, zkracovat, zužovat nebo rozšiřovat,
- možnost použít velmi malé proudy a tedy svařovat velmi tenké plechy,
- velmi dobrá ochrana svarové lázně před účinky vzdušného kyslíku,
- možnost svařovat v jakékoliv poloze,
- svarová housenka je velmi příznivá na straně povrchu i kořene svaru.

Nevýhody TIG [5], [6], [8], [10]:

- cena zařízení vyplývající z jeho složitosti, zejména u svařování střídavým proudem,
- obtížnější nalezení vhodných parametrů svařování díky množství regulačních prvků,
- malá produktivita. Metoda je tedy nevhodná pro velké série.

Využití TIG

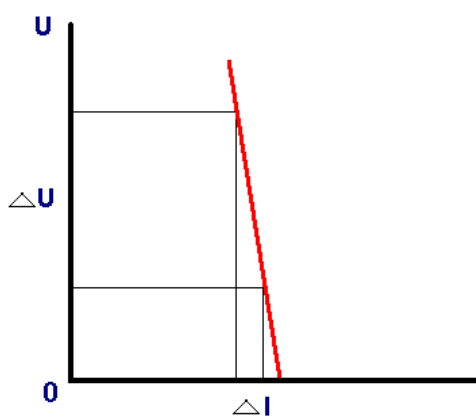
Metoda TIG vykazuje nízkou produktivitu. Příčinami jsou nízká účinnost přenosu tepla a omezení proudového zatížení elektrody. Díky tomu je tato metoda vhodná pouze ke kusové nebo malosériové výrobě. [5], [6], [8], [10]

Hlavními výhodami této metody jsou vysoká kvalita svaru a možnost svařovat vysokolegované oceli, Al, Cu, Ni, Mg i Ti, a další velmi obtížně svařitelné materiály. Výrazného zvýšení produktivity nedosáhneme ani při použití mechanizovaných zařízení, dochází zde spíše ke zvýšení kvality a rovnoměrnosti výsledků. Díky těmto vlastnostem se metoda TIG prosazuje zejména v oblastech [5], [6], [8], [10]:

- žáruvzdorné a žárupevné oceli pro výrobu pecí, kotlů a tepelných výměníků,
- zařízení z vysokolegovaných ocelí pro chemický průmysl,
- zařízení pro potravinářský a farmaceutický průmysl,
- jaderná technika (splnění požadavků na zvlášť vysokou čistotu),
- přístrojová technika,
- svařování tenkých materiálů,
- titanové slitiny v leteckém průmyslu,
- hliníkové materiály – rámy motocyklů, jízdních kol, žebříky.

Voltampérová charakteristika

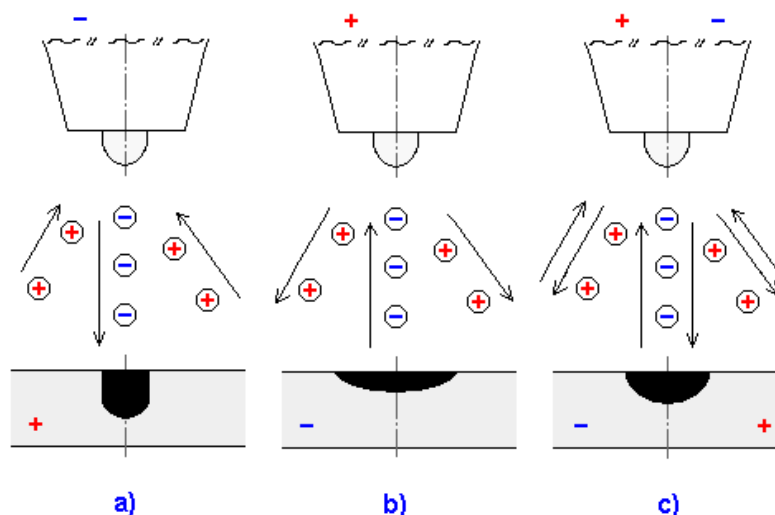
Pro TIG svařování je typická strmá charakteristika. Velká změna napětí tedy vede pouze k malé změně svařovacího proudu. Mezi napětím a délkou oblouku platí přímá úměra. [5], [6], [9], [10]



Obr. 10 Voltampérová charakteristika TIG svařování [9]

Svařování TIG je možné těmito proudy:

- svařování stejnosměrným proudem,
- svařování střídavým proudem,
- svařování impulsním proudem.



a) Přímá polarita – stejnosměrný proud, b) Nepřímá polarita – stejnosměrný proud,
c) Střídavý proud

Obr. 11 Druhy svařovacích proudů [9]

Přímá polarita – stejnosměrný proud

Základní materiál je připojen na kladný pól a wolframová elektroda na minus pól. Hořák je tedy připojen na minus svorky svářečky a zemnění na kladnou svorku. Zhruba 1/3 tepla na hořáku se vyvine na záporné wolframové elektrodě a zbylé 2/3 na kladné straně, tedy na základním materiálu. Výhodou je nižší tepelné zatížení wolframové elektrody a snazší natavení základního materiálu. Takto vzniklé svary jsou úzké a hloubka závaru velká. [5], [6], [9], [10]

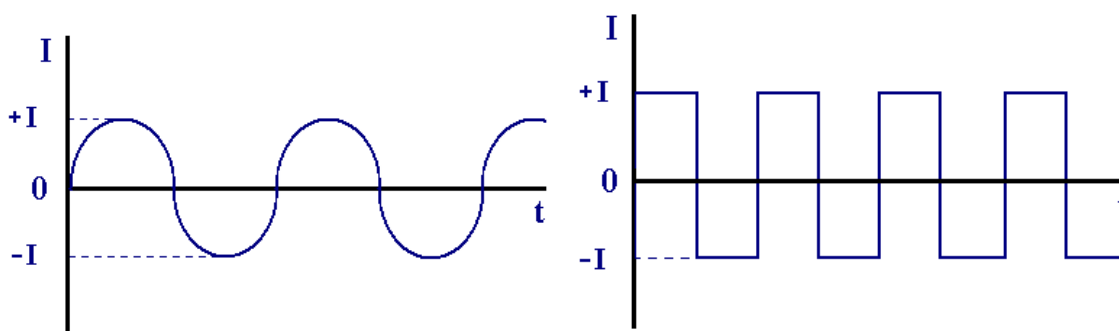
Svařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou se používá pro konstrukční i vysokolegované oceli, na materiály na bázi niklu, mědi, titanu a pro navařování tvrdých vrstev při opravách nástrojů. Pro stabilní oblouk je nutné brousit elektrody do špičky. Nelze zde dosáhnout čistícího efektu oblouku – neočistí oxidy u hliníkových a hořčíkových materiálů. Špička má při svařování tendenci se zakulacovat, proto je potřeba ji pravidelně zabrušovat. [5], [6], [9], [10]

Nepřímá polarita – stejnosměrný proud

Oproti předchozí metodě je zapojení obrácené, což způsobuje tepelné namáhání elektrody. Hrozí tedy odtavování elektrody a je nutné zajistit intenzivní chlazení. Svary jsou široké a hloubka závaru malá. Kvůli popsaným nevýhodám se toto uspořádání téměř nepoužívá.

Střídavý proud

V průběhu svařování střídavým proudem dochází ke střídání polarity. Díky tomu je možné využívat přímé i nepřímé polarity zároveň. V čase, kdy se polarita pohybuje v kladné oblasti, je základní materiál čištěn od oxidů, ale wolframová elektroda je více tepelně namáhána. V záporné fázi střídání dochází k většímu natavení základního materiálu, přičemž elektroda se částečně ochlazuje. [5], [6], [9], [10]



Obr. 12 Průběhy střídavého proudu [9]

Sinusový průběh střídavého napětí (na obrázku vlevo) je typický pro starší svářečky, kde jejich frekvence odpovídala síťovému napětí tedy 50Hz. Nebylo zde možné měnit poměr mezi kladnou a zápornou polaritou. Čistící účinek je tak zbytečně velký a wolframová elektroda je enormně zatěžována. [5], [6], [9], [10]

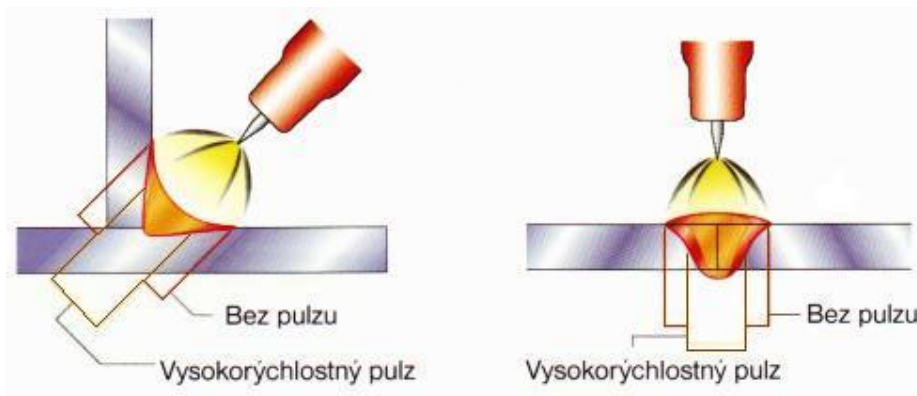
Obdélníkový průběh střídavého napětí (na obrázku vpravo) je používán v moderních svářečkách, kde je možné nastavovat podle potřeby frekvenci změny polarity i poměr kladné a záporné fáze. Díky tomu je možné zvolit vždy optimální poměr, ať už svařujeme běžný nebo silně zoxidovaný materiál. [5], [6], [9], [10]

Impulsní proud

Základním principem je použití dvou hodnot proudů, vyšší a nižší. Tyto hodnoty se střídají v periodickém cyklu. Svářeč nastaví vyšší (základní) proud I_1 na hodnotu požadovanou pro dobré provaření svaru. Nižší proud I_2 je nastaven automaticky svářečkou nebo jej nastaví svářeč. Velikost I_2 se většinou volí procentuálně vůči hlavnímu proudu I_1 (cca 20-50 %). Proud I_2 nemá dostatečnou energii pro natavení materiálu, ten se tedy ochladí. Díky I_2 je však zachován oblouk a ionizace prostředí. Výsledkem krátkého ochlazení materiálu je zúžení tepelně ovlivněné oblasti. Vhodným nastavením pulzů lze dosáhnout požadované hloubky závaru i šířky svaru. Impulsní svařování je výhodné při zhotovování heterogenních spojů kvůli menšímu promíšení materiálu. Další výhodou pulsního svařování je také možnost použití pro estetické svary (např. penízkové svary s překrytím cca 60 %). [5], [6], [9], [10]

Druhy pulsů

Druhy pulsů rozlišujeme na základě frekvence střídání fází I_1 a I_2 . **Běžným pulsem** se rozumí 0,25-25 Hz. Tento puls je vhodný pro svařování tenkých plechů a vysokolegovaných ocelí. Umožňuje svařování plechů různých tloušťek. Díky bezproblémovému řízení svařovacího procesu získáváme přesnou a úhlednou housenku. Při frekvencích 20-600 Hz mluvíme o **vysokorychlostním pulsu**. Při tomto nastavení získáváme výrazně menší tepelně ovlivněnou oblast díky koncentrovanějšímu (zúženému) oblouku. [5], [6], [9], [10]



Obr. 13 Tepelně ovlivněná oblast při svařování s pulsem a bez pulsu [9]

Pulsní svařování je možné provádět stejnosměrným i střídavým proudem. V případě svařování střídavým proudem jsou proudy I_1 a I_2 chápány jako efektivní hodnota svařovacího proudu. [5], [6], [9]

Hořáky TIG

Jednou z nejvíce namáhaných součástí svařovacího zařízení je hořák. [8], [9], [10]

Funkce hořáku [8], [9], [10]:

- fixace elektrody,
- přívod elektrického proudu do elektrody,
- usměrnění ochranného plynu,
- přívod a odvod chladicí kapaliny.

Fixace a přívod elektrického proudu je zajištěna kleštinou. Pro usměrnění ochranného plynu do místa svařování je hořák vybaven vyměnitelnými tryskami. Keramické trysky jsou používány pro plynem chlazené hořáky. Kovové trysky jsou obvykle měděné a pochromované. Používají se pro vodou chlazené hořáky. Plynem chlazené hořáky jsou pro proudy do 150 A, vodou chlazené pro 350–500 A. V případech, kdy je nezbytné zvětšit vysunutí elektrody, se používají síťka prodlužující laminární proudění plynu. Běžná hodnota vysunutí elektrody je u tupých svarů 1–1,5 násobek průměru elektrody. Vysunutí u koutových svarů se zvětšuje o 3–5 mm. [8], [9], [10]

Elektrody TIG

Elektrody pro TIG svařování se vyrábí spékáním wolframu bez příměsí nebo s legujícími prvky. Přísadovými prvky jsou zde thorium, lanthan, cer, zirkon, yttrium. Tyto prvky snižují teplotu ohřevu elektrody o 1000 °C, zvyšují životnost, zlepšují zapalování a stabilitu oblouku. Samotný wolfram má teplotu tavení 3380 °C. Volba elektrody závisí na druhu proudu, oblasti použití a požadovaném výsledku svařování. Druh a označení udává ČSN EN 26 848. [8], [9], [10]

Značení elektrod [10]:

- písmeno W značí základní materiál elektrod, tedy wolfram,
- druhé písmeno značí přísadu oxidů,
- číselná hodnota udává 10x procentuální obsah přísady.

Např. elektroda WT 20 obsahuje 2 % oxidu thoria

WP: wolframová elektroda nelegovaná o čistotě 99,9 %. [10]:

- svařování slitin hliníku střídavým proudem, dobrá stabilita oblouku,
- nevhodná pro svařování stejnosměrným proudem,
- nebrousí se do špičky.

WZ: wolfram – zirkon [10]:

- nahrazuje WP elektrody,
- zirkon snižuje tvorbu vměstků,
- zejména pro svařování střídavým proudem,
- svařování hliníkových materiálů.

WT: wolfram – thorium [10]:

- thorium snižuje výstupní práci, zvyšuje emise elektronů,
- čím více thoria, tím lepší zapalování, trvanlivost, zatížitelnost proudem,
- pro svařování vysokolegovaných ocelí,
- při broušení nutné odsávání.

WC: wolfram – cér [10]:

- univerzální elektrody,
- stejnosměrný i střídavý proud,
- legované i nelegované oceli, slitiny hliníku, slitiny titanu, niklu, mědi a horčíku,
- dobré zapalovací vlastnosti,
- dobrá trvanlivost a zatížitelnost.

WL: wolfram – lanthan [10]:

- univerzální elektrody,
- stejnosměrný i střídavý proud,
- v oblasti nízkých proudů lepší než WC elektrody,
- lanthan usnadňuje zapalování zejména při automatizovaném svařování.

Přídavné materiály

Přídavný materiál má při TIG svařování několik funkcí. První z nich je doplňování objemu svarového kovu, aby bylo možné vytvořit svar požadovaného tvaru a průřezu. Další funkcí je legování svarového kovu. Dosahujeme tak desoxidace, odplynění a příznivějšího průběhu metalurgických dějů. Přídavný materiál zlepšuje formování svarů, smáčení svarových ploch a operativnost při svařování v různých polohách. [8], [9], [10]

Formy přídavného materiálu [8], [9], [10]

Tyčky: průměry 1-8 mm, délky 600–1000 mm

Dráty: průměry 0,6-2,4 mm, pro navařování do 5 mm

Ochranné plyny

Smyslem ochranného plynu při svařování je izolace elektrody, svarové lázně a jejího okolí od okolní atmosféry, a to kvůli jejím škodlivým účinkům na kvalitu svaru a průběh svařování. Zároveň ochranný plyn vytváří vhodné podmínky pro svařování. Má tedy pozitivní vliv na zapálení a stabilitu oblouku a přenos tepla do svaru. Ochranný plyn je volen podle svařovaného materiálu. [8], [9], [10]

Argon [10]:

- inertní plyn,
- dobře ionizovatelný, pozitivní vliv na stabilitu oblouku,
- vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu.

Helium [10]:

- inertní plyn,
- vyšší teplota oblouku než u argonu,
- vhodný pro svařování vodivějších materiálů (mědi a jejích slitin),
- větší tloušťky materiálu,
- vyrábí se separací ze zemního plynu.

Směs argonu a hélia (70 % Ar + 30 % He, 30 % Ar + 70 % He, 50 % Ar + 50 % He) [10]:

- čím více hélia tím vyšší napětí a tepelný výkon oblouku,
- vyšší rychlost svařování a hloubka závaru popř. snížení předeřevu,
- ruční svařování mědi a hliníku.

Směs argonu a vodíku (5-10 % vodíku) [10]:

- vyšší čistota povrchu, hloubka závaru i rychlost svařování (o 30-50 %),
- vodík je možné používat pouze pro vysokolegované austenitické a austeniticko-feritické CrNi oceli, nebo u niklu a jeho slitin (u jiných materiálu hrozí pórovitost a praskání).

Směs argonu s dusíkem (cca 10 % dusíku) [10]:

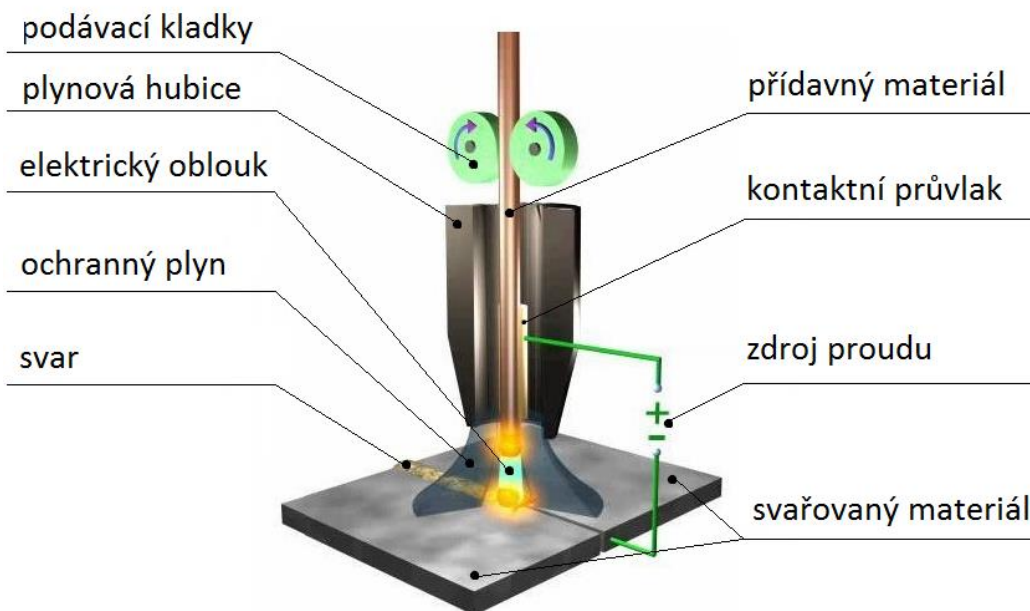
- díky vyšší tepelné vodivosti plynu je více tepla přeneseno do svarové lázně,
- vhodný pro svařování mědi a jejích slitin.

Formovací plyn [10]:

- pro ochranu kořene svaru,
- proti oxidaci kořene a horké oblasti okolního materiálu,
- inertní, redukční nebo nereagující se svařovaným materiálem.

4.2 Svařování metodou MIG/MAG

MIG a MAG jsou metody poloautomatického svařování kovů. Poloautomatické proto, že přídavný materiál je posunován elektrickým pohonem. Hořák je však veden ručně, proto nemůžeme mluvit o čistě automatickém svařování. Přídavný materiál je zde zároveň tavnou elektrodou. Druhou elektrodou je svařovaný materiál. [10], [11]



Obr. 14 schéma MIG/MAG svařování [12]

MAG svařování

Zkratka MAG (Metall Active Gas) značí poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu. Úkolem plynu je zde nejen chránit svarovou lázeň proti účinkům okolní atmosféry, ale také ovlivňovat chemickou reakci, která zde probíhá. Je tedy aktivní součástí procesů, které probíhají v roztaveném kovu. [10], [11]

Aktivní plyny

Složení a množství ochranného plynu ovlivňuje tyto charakteristiky svařování [10], [11]:

- tvar a rozměry oblouku, síly působící v oblouku,
- tvar a rozměry průřezu svaru,
- metalurgické děje v průběhu tvoření kapky, přenosu kapky a ve svarové lázni,
- tvorbu ionizovaného prostředí pro start a hoření oblouku,
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje,
- hladkost povrchu svaru a přechodu na základní materiál.

CO₂ [10], [11]:

- oblíbený, dostupný,
- nízká cena,
- dobrý průvar,
- nevýhodou je vznik oxidů, které nepříznivě ovlivňují mechanické vlastnosti svarů,
- s jeho použitím souvisí vysoké napětí na oblouku, což způsobuje velký rozstřík,
- svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí (nevhodný pro korozivzdorné oceli).

Argon + CO₂ (max. 15 % CO₂) [10], [11]:

- použití ve velkých provozech, důraz na kvalitu a produktivitu svařování,
- svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí,
- obvyklé směsi 82 % Ar+18 % CO₂ a 92 % Ar+8 % CO₂.

Argon + O₂ (max. 5 % O₂) [10], [11]:

- vhodné pro vysokolegované oceli,
- obvyklé směsi 97 % Ar+3 % O₂, 99 % Ar+1 % O₂.

MIG svařování

Zkratka MIG (Metall Inert Gas) značí poloautomatické svařování kovů v ochranné atmosféře inertního (netečného) plynu. Netečný plyn tedy nemá žádnou jinou funkci než ochrannou. Nezasahuje do žádné z chemických reakcí, pouze izoluje svarovou lázeň od vlivů okolní atmosféry. Tato metoda se používá zejména pro svařování lehkých kovů. [10], [11]

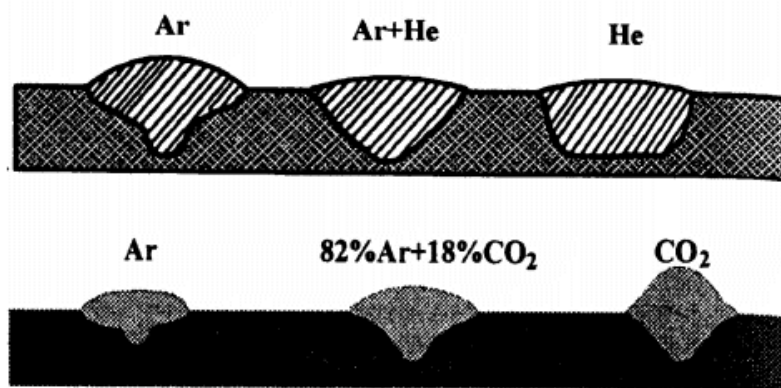
Inertní plyny

Argon [10], [11]:

- nejpoužívanější,
- vhodný pro svařování hliníkových materiálů, slitin mědi, titanu,
- několik stupňů čistoty,
- argon 4,6 (tzn. čistota 99,996 %) pro běžné svařování hliníkových a měděných materiálů,
- argon 4,8 pro aplikace s vyšším důrazem na kvalitu,
- argon 5 pro svařování titanu.

Argon + Helium [10], [11]:

- až 95 % helia,
- helium zvyšuje teplotu oblouku,
- ruční svařování silnějších materiálů,
- zejména pro automatizované a robotizované svařování,
- vysoká cena,
- obvyklá směs 70 % Ar+30 % He.



Obr. 15 Rozdíl mezi závary MIG (nahore) a MAG (dole) [13]

Svařovací zdroje

Pro svařování metodami MIG a MAG jsou používány zásadně zdroje stejnosměrného proudu. Drátová elektroda je připojena na kladný pól (s výjimkou trubičkového drátu). Délku oblouku je možné regulovat jedině díky ploché charakteristice zdroje. Změna délky oblouku tedy způsobí velkou změnu proudu, a tím se zrychlí nebo zpomalí odtavování elektrody. Jiný způsob regulace není možný pro obvyklé malé průměry drátu a vysoké podávací rychlosti. [10], [11]

Typy zdrojů**Výkonové zdroje [10], [11]:**

- oddělený podavač drátu,
- ve skříni rozvaděč s chladicí kapalinou.

Kompaktní zdroje [10], [11]:

- podavač drátu a zdroj ve skříni,
- nízký a střední výkon,
- hořáky chlazené plynem.

Stavebnicové uspořádání [10], [11]:

- komponenty umístěny s ohledem na snadnou přístupnost,
- oddělený podavač drátu.

Podavače drátu

Metody MIG/MAG jsou charakteristické nepřetržitým přísuvem drátu do svarové lázně. K tomuto účelu slouží podavač drátu, který posunuje drát pomocí soustavy kladek. Tyto kladky mohou být dvě až čtyři. [10], [11]

Hořáky MIG/MAG

Hořáky zajišťují u metody MIG/MAG vedení přídavného drátu a přísun ochranného plynu. Kvůli tepelnému namáhání jsou uzpůsobeny pro lepší chlazení. Hořáky pro nízké výkony jsou chlazeny vzduchem, pro vysoké výkony proudící kapalinou. Napájení drátu proudem je zajištěno pomocí kontaktního průvlaku. Vedení ochranného plynu vyúsťuje tryskou. [10], [11]

Přenos kovu v oblouku záleží na [10], [11]:

- svařovacím proudem a napětím,
- charakteru a složení ochranného plynu,
- druhu přídavného materiálu,
- technice svařování.

Rozlišujeme dva základní typy přenosu kovu v oblouku. Těmito typy jsou zkratový a bezzkratový. Zkratový přenos vzniká, pokud se rostoucí kapka dostane do kontaktu se svarovou lázní dříve, než se oddělí od elektrody. Dochází tedy ke zkratu. Tento jev je typický pro svařování v atmosféře CO_2 . Při bezzkratovém přenosu jsou kapky kovu příliš malé, oddělí se tak od elektrody dříve, než dojde ke kontaktu se svarovou lázní. Typicky při svařování v ochranné atmosféře směsných plynů např. $\text{Ar}+\text{CO}_2$. [10], [11]

Další typy přenosu kovu v oblouku jsou [10], [11]:

- krátký oblouk se zkratovým přenosem,
- krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem,
- přechodový oblouk s nepravidelnými zkraty,
- dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem,
- impulsní bezzkratový oblouk,
- moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený zkratový přenos,
- dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu.

Přídavné materiály

Přídavné materiály volíme na základě svařovaných materiálů a požadovaných vlastností svaru. Používají se dráty plné a dráty plněné. Plné dráty se vyrábí o průměrech 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2 a 2,4 mm. Plněné dráty jsou k dostání bezešvé anebo tvarově uzavřené. [10], [11]

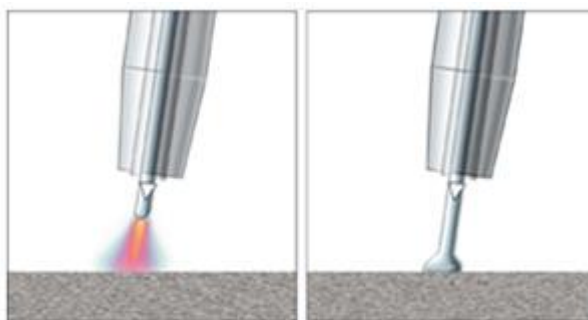
Náplněmi jsou přísadové prvky [10], [11]:

- bazické,
- kyselé,
- rutilové,
- fluoridové,
- struskotvorné,
- dezoxidační a ionizační.

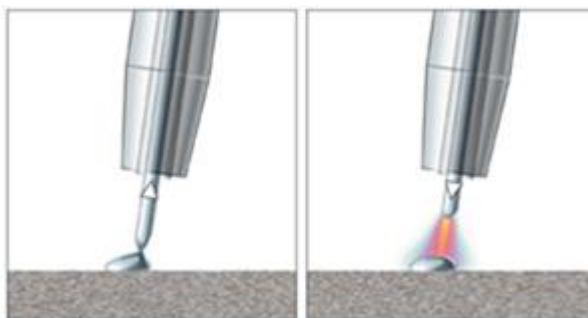
Výhodami plněných drátů je snižování náchylnosti k trhlinám, zlepšení smáčivosti, bezostřikový přenos kovu, možnost legování a vylepšení mechanických vlastností svarů. [10], [11]

4.3 Svařování metodou CMT

Zkratka CMT značí slovní spojení Cold Metal Transfer. Jedná se o modifikaci MIG/MAG svařování s krátkým zkratovým obloukem. Horká fáze, kdy hoří oblouk a je natavován přídavný a základní materiál, zůstává zachována. Těsně po kontaktu nataveného drátu následuje snížení intenzity proudu a krátké posunutí drátu zpět do hubice. Tímto způsobem oddělení kapky dosáhneme bezostřikového přenosu kovu a snížení vneseného tepla. [14], [15]



Obr. 16 Horká fáze – hoření oblouku (vlevo), natavení materiálu (vpravo) [16]



Obr. 17 Studená fáze – pohyb drátu zpět do hubice a oddělení kapky kovu (vlevo), znovu hoření oblouku (vpravo) [16]

Posunutí drátu zpět do hubice je možné díky tzv. adsorbčnímu členu, kterým je CMT zařízení vybaveno. [14], [15]

Uvedený cyklus probíhá až 70x za sekundu a je řízen digitálně. Celý proces je sledován procesorem se zpětnou vazbou, který bez ohledu na podmínky svařování udržuje konstantní vzdálenost i rozměr svaru. [14], [15]



Obr. 18 Ruční hořák pro CMT svařování [17]

Výhody CMT svařování [14], [15]:

- nízké tepelné zatížení,
- malá tepelná deformace,
- dobrá přemostitelnost spáry (problematické například u TIG),
- nízké nebo žádné nároky na následné opracování svaru,
- vysoká rychlost svařování,
- možnost svařování kombinovaných konstrukcí (například hliníku a ušlechtilých ocelí),
- vhodné pro svařování tenkých plechů.

Nevýhody CMT svařování [14], [15]:

- cena zařízení,
- vyšší hmotnost hořáku a z toho plynoucí rychlejší únava svářeče.

Požadavky na svařování v průmyslových aplikacích se neustále zvyšují. Velký důraz je kladen na zlepšování parametrů svařování u tenkých plechů do 2 mm tloušťky. V této oblasti vykazuje metoda CMT výjimečně dobré výsledky. Umožňuje například svařovat tenké hliníkové plechy (0,8 mm) natupo, bez nutnosti použití podložky a zároveň dosáhnout svařovací rychlostí cca 2 m/min. Velké možnosti využití vykazuje metoda také u svařování vysokolegovaných ocelí tloušťky do 1,5 mm. Vysoká stabilita oblouku, nízké tepelné zatížení, vhodná metalurgie a celková spolehlivost procesu zaručují uspokojivé výsledky. Při použití inertního plynu je možné vytvářet pájené spoje pozinkovaných plechů s minimálním rozstříkem. Tato technologie je často využívána v automobilovém průmyslu kvůli poměrně vysoké svařovací rychlosti až 1,5 m/min a minimálnímu rozstříku kovu. Nutnost dalšího opracování svaru je spíše výjimkou. [14], [15]

Tato metoda poskytuje značný prostor pro mechanizaci a automatizaci. Drtivá většina CMT svařovacích aplikací je automatizována. Přestože dnes má metoda CMT široké využití, většina prodaných zařízení stále putuje do automobilového průmyslu [14], [15]

Trendy v CMT svařování

Modifikace metody CMT svařování umožňují spojovat kov s mnohými výhodami. Dosahujeme zde vysokých odtavných výkonů a zároveň snížení vneseného tepla. Vedlejší efekty jsou minimalizovány díky extrémní stabilitě oblouku, což má pozitivní vliv na bezpečnost procesu. [18]

CMT Advanced proces

Jednou z nových variant CMT svařování je CMT Advanced proces. Pro tuto metodu je charakteristická možnost nastavení počtu po sobě jdoucích kladných nebo záporných proudových pulzů a fází. Hloubka závaru a čistící účinek jsou určovány kladnými fázemi. Záporné fáze podstatně zvyšují odtavný výkon (při zachování vstupního výkonu). Díky tomu vykazuje drátová elektroda se zápornou elektrodou podstatně vyšší objem odtaveného materiálu ve srovnání s elektrodou o kladné polaritě. Celý proces je velmi stabilní díky faktu, že změna polarity probíhá v době, kdy oblouk nehoří. K tomu dochází při kontaktu přídavného materiálu s tavnou lázní. [18]

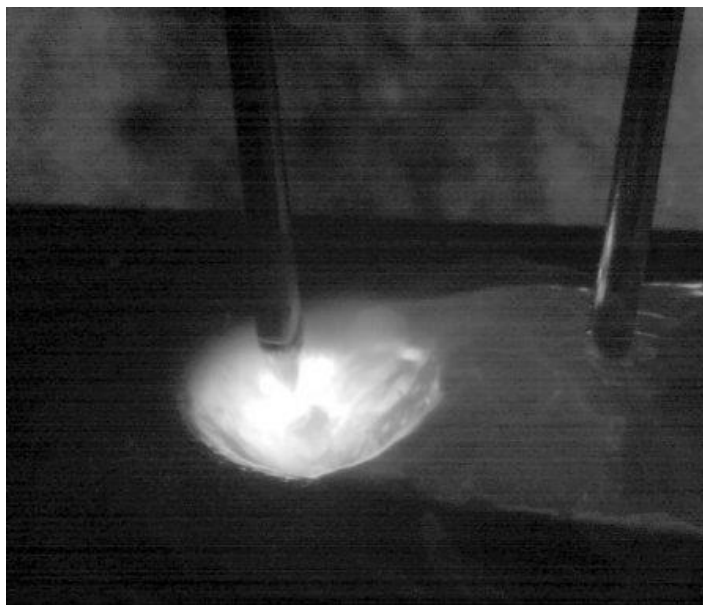
CMT Advanced Pulse proces

Tato metoda je kombinací kladné fáze impulsního svařování a záporné fáze CMT. Pokud bychom měli srovnat CMT APP se svařováním střídavým proudem, je důležité uvědomit si rozdíl v použití impulsního oblouku odděleného od záporné proudové fáze. Dynamický pohyb drátu je zde uskutečňován pouze v záporné (CMT) fázi. Naopak v kladné fázi impulsního oblouku se drát pohybuje kontinuálně. Celý cyklus se skládá z opakování sekvence: 1x záporná CMT fáze, 1x kladná impulsní fáze. [18]

Díky proměnlivé záporné proudové fázi při konvenčním střídavém procesu odpadají vlivy na oddělování kapek v impulsní fázi. Důvodem je čistý přenos kovu vzniklého v záporné CMT fázi v době následného zkratu. Fáze impulsního oblouku se vyznačuje bezzaktovým přenosem kovu. Realizace přechodu mezi oběma fázemi je tak možná pouze přes inicializační fáze. [18]

CMT Twin

V současné době je k dostání varianta CMT Twin, která se od přechozích odlišuje specifickým průběhem a použitým zařízením. Nezbytné je zde použití dvou svařovacích zdrojů a hořák s dvěma kontaktními průvlaky. Tyto průvlaky jsou od sebe navzájem izolovány a nazýváme je „lead“ a „trail“. [18]



Obr. 19 Svařování metodou CMT Twin [18]

Princip

Vedoucí elektroda pracuje v pulsním režimu a podružná elektroda v režimu CMT. Díky přednímu oblouku získáváme hluboký závar, následující oblouk druhé elektrody vyplní tavnou lázeň. Oblouky se navzájem ovlivňují jen minimálně a tavná lázeň je velmi stabilní. Tato metoda se vyznačuje vysokou produktivitou a hospodárností procesu, díky zvláště vysoké svařovací rychlosti. Úspory vyplývají nejen z rychlosti i díky menšímu vnesenému teplu. Díky tomu je nutné méně rovnacím prací apod. [18]

Oblast aplikace

Aplikace tohoto procesu jsou téměř výhradně pro automatizované provozy. Zde je pak možné odstranit úzká místa výroby a dosáhnout tak kratších taktovacích časů linky. Dosahované rychlosti mohou být v některých případech tak velké, že ruční svařování není možné. [18]

Specifika metody

Vysoké stability už od samého začátku svařování je dosaženo díky perfektnímu sladění charakteristik s koncepcí Lead a Trail. Výsledkem je pak poměrně jednoduché řízení procesu díky samoregulaci. Podružná elektroda se automaticky přizpůsobuje parametrům vedoucí elektrody. Dosahujeme tak rovnoměrného vytékání svaru a optimálního závaru, což jsou předpoklady pro perfektní vzhled svaru v celé jeho délce. [18]

Výhody [18]:

- vysoká stabilita procesu,
- až dvojnásobná rychlost svařování,
- až dvojnásobné odtavné výkony,
- minimální rozstřík,
- velké možnosti svařování v CO₂ atmosféře,
- velké rozmezí tloušťek materiálu, pro které je metoda vhodná,
- přemostitelnost poměrně velkých spár,
- různě vysoké odtavné výkony díky navzájem nezávislému nastavení posuvů elektrod,
- vhodné pro automatizaci,
- velmi nízké vnesené teplo,
- minimální tepelná deformace.

Nevýhody [18]:

- cena a složitost zařízení,
- nevhodné pro ruční svařování.

5 SVAŘITELNOST

5.1 Charakteristika použitého základního materiálu

Základním materiálem je žáruvzdorná korozivzdorná ocel 1.4845. Jedná se o chrom niklovou austenitickou nestabilizovanou ocel. Certifikát k tomuto materiálu je možné nalézt v příloze č. 1. [19]

Tab. 1 Značení základního materiálu [20]

Značka oceli dle ČSN	Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Číslo materiálu W.Nr.	Značka dle AISI
17 255	X8CrNi25-21	1.4845	310

Tab. 2 Chemické složení základního materiálu [19]

Cr [%]	Ni [%]	C [%]	Mn [%]	Si [%]
24 – 26	19 – 22	< 0,1	< 2	< 1,5

Tab. 3 Mechanické vlastnosti použitého materiálu [19]

Při teplotě	20°C	600°C	900°C
Pevnost v tahu Rm [MPa]	500-700	170	15
Mez kluzu Rp 1,0 [MPa]	250	100	10
Tažnost A80 mm	Min 35 %	x	x

Ostatní vlastnosti [19]:

- teplota žhání 1050–1150 °C,
- svařitelná,
- do průvaru cca 6 mm bez nutnosti žhání,
- při teplotách 600–950 °C má slon ke tvorbě CrC a tím ke křehkosti,
- tendence ke zpevňování za studena,
- nelze kalit,
- zbytkový magnetismus z vysokých teplot častý spíše u větších průřezů,
- nemagnetická,
- odolnost proti oxidaci vzduchem do teploty 1050 °C. Při jiném prostředí může rychlost oxidace stoupnout a maximální teplota může klesnout na 850 °C,
- zhoršená třísková obrobiteľnosť.

Použitelnost materiálu [19]:

- mechanické součásti,
- střední a malé mechanické namáhání,
- zatížení při teplotách nad 900 °C (teplota s ohledem na aktivitu oxidačního prostředí).

5.2 Charakteristika použitého přídavného materiálu

Použitý přídavný materiál TIG

Certifikát k tomuto materiálu je možné nalézt v příloze č. 2

Označení: OK Tigrod 310, Ø 1 mm

Výrobce: ESAB Vamberk

Tento přídavný materiál je určený ke svařování žárupevných austenitických ocelí typu 25Cr20Ni. Do teploty 1150 °C je svarový kov opaluvzdorný, do 800 °C žáruvzdorný. Špatně odolává sirmé atmosféře. Dobré plastické vlastnosti zůstávají zachovány i při nízkých teplotách. Doporučuje se svařování s nízkým tepelným příkonem (max. 1,5 kJ/mm). [21]

Tab. 4 Chemické složení přídavného materiálu TIG [21]

Prvek	C	Si	Mn	Cr	Ni
Množství [%]	0,1	0,4	1,8	26	21

Použitý přídavný materiál MAG, CMT

Certifikát k tomuto materiálu je možné nalézt v příloze č. 2.

Označení: OK Autrod 310, Ø 1 mm

Výrobce: ESAB Vamberk

Tento drát je určený ke svařování žárupevných austenitických ocelí typu 25Cr20Ni. Svarový kov je plně austenitický. Dobře odolává dusíkovým sloučeninám a plynům obsahujícím malé množství kyslíku. Do teploty 1150 °C je svarový kov opaluvzdorný. Špatně odolává sirmé atmosféře. Vhodný pro aplikace jako jsou stavba průmyslových pecí, částí nádob a tepelných výměníků. Doporučuje se svařování s nízkým tepelným příkonem (max. 1,5 kJ/mm). [22]

Tab. 5 Chemické složení přídavného materiálu MAG [22]

Prvek	C	Si	Mn	Cr	Ni
Množství [%]	0,1	0,4	1,8	26	21

5.3 Svařitelnost vysokolegovaných ocelí

Žáruvzdorné oceli jsou typické obsahem legur nad 10 % a vysokou hodnotou meze pevnosti při tečení (odolnost proti creepu). Žárupevnost je zajištěna díky legujícím prvkům jako Cr, Ti, W, Mo, Nb. Tyto prvky zpomalují degradaci mechanických vlastností při vysokých teplotách a díky disperzním precipitátům se výrazně zpevňuje tuhý roztok. Žáruvzdorné oceli jsou schopné odolávat chemické korozi a oxidaci při teplotách nad 600°C. V případě austenitických ocelí se jako přídavný materiál používají dráty nebo tyčinky se stejným nebo velmi podobným chemickým složením. Svařování žáruvzdorných ocelí je možné téměř všemi známými metodami, u kterých jsme schopni dosáhnout úplné ochrany svarového kovu. Zásadní je obsah δ -feritu ve svarovém kovu, který závisí na jeho

chemickém složení. Vhodný obsah δ -feritu se pohybuje mezi 3-6 %. Tyto oceli nejsou kalitelné, ani náchylné ke vzniku studených trhlin díky vysoké rozpustnosti vodíku v austenitu a svařujeme je tedy bez předehřevu. Tyto oceli jsou náchylné k tvorbě teplých trhlin a růstu zrn v tepelně ovlivněné oblasti, proto je nutné věnovat pozornost velikosti tepla vneseného do svaru. Obvykle se neprovádí žíhání, ani jiné tepelné zpracování spojů. [23], [24], [25], [26]

Austenitické Cr-Ni oceli

Ve srovnání s feritickými oceli mají asi o 50 % větší tepelnou roztažnost a o 30 % nižší tepelnou vodivost. Díky austenitické struktuře mají lepší tažnost a houževnatost než uhlíkové a nízkolegované oceli. Obsahují minimálně 16,5 %Cr. Austenitické mikrostruktury je dosahováno díky legování Ni, Mn, C a N. Pro zlepšení odolnosti proti oxidaci a korozi mohou být dále legovány Mo, Ti, Nb, C a N. Obvykle se svařují po rozpouštěcím žíhání. [23], [24], [25], [26]

Parametry základního materiálu

Důležitými parametry základního materiálu jsou chromový a niklový ekvivalent. Vynesemím těchto parametrů do Schaefflerova diagramu zjistíme strukturu základního materiálu. Stejný postup bude aplikován pro přídavný materiál. Oblast vyznačená červenou barvou odpovídá rozsahu chemického složení základního materiálu, který udává norma vysokolegovaných ocelí. Modře vyznačený průsečík odpovídá chemickému složení přídavného materiálu. [24], [27]

Základní materiál - Chromový ekvivalent pro 24 % Cr [27]

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [\%] \quad (5.1)$$

$$Cr_e = 24 + 1,5 \cdot 1$$

$$Cr_e = 25,5 \quad \%$$

Základní materiál - Chromový ekvivalent pro 26 % Cr [27]

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [\%]$$

$$Cr_e = 26 + 1,5 \cdot 1$$

$$Cr_e = 27,5 \quad \%$$

Základní materiál - Niklový ekvivalent pro 19 % Ni [27]

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [\%] \quad (5.2)$$

$$Ni_e = 19 + 0,5 \cdot 2 + 30 \cdot 0,1 + 30 \cdot (0 - 0,05) \quad [\%]$$

$$Ni_e = 21,5 \quad \%$$

Základní materiál - Niklový ekvivalent pro 22 % Ni [27]

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [\%]$$

$$Ni_e = 22 + 0,5 \cdot 2 + 30 \cdot 0,1 + 30 \cdot (0 - 0,05) \quad [\%]$$

$$Ni_e = 24,5 \quad \%$$

Přídavný materiál - Chromový ekvivalent [27]

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [\%]$$

$$Cr_e = 26 + 1,5 \cdot 0,4$$

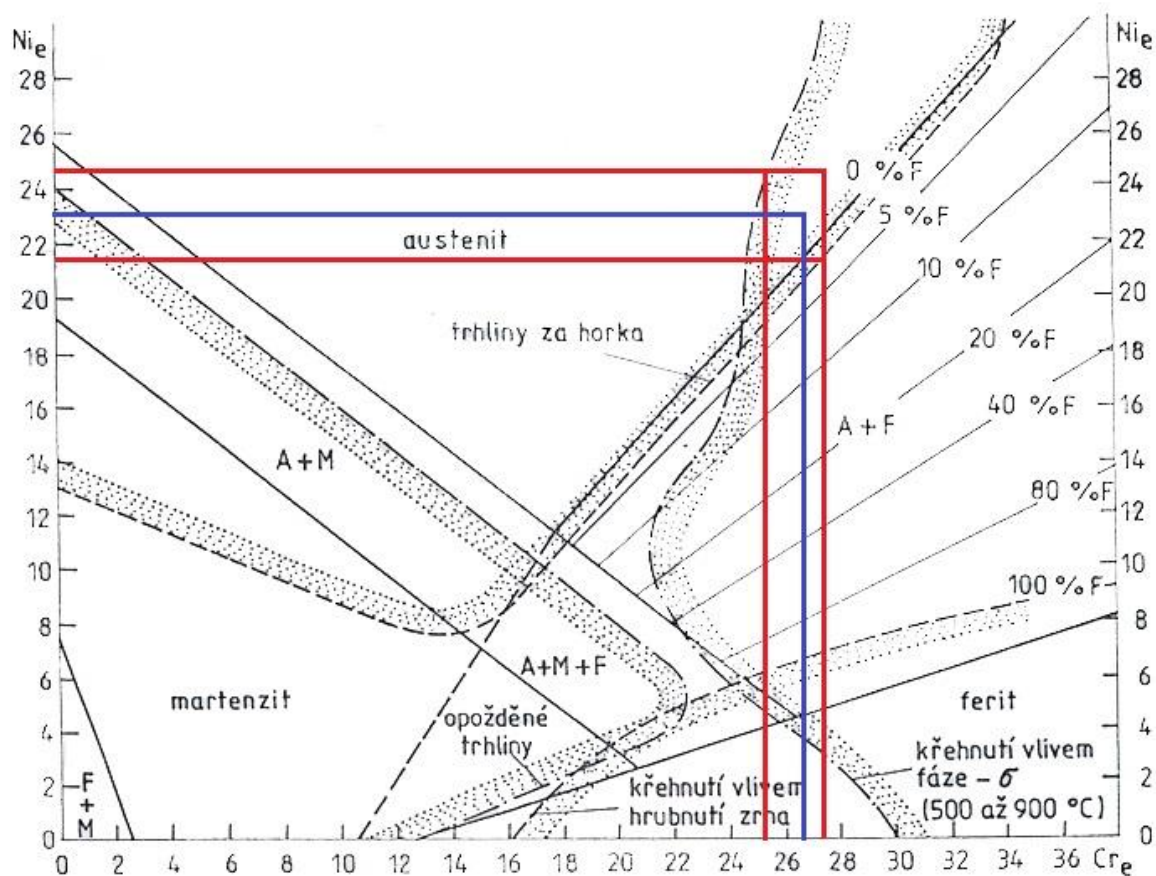
$$Cr_e = 26,6 \quad \%$$

Přídavný materiál - Niklový ekvivalent [27]

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mn + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [\%]$$

$$Ni_e = 21 + 0,5 \cdot 1,8 + 30 \cdot 0,1 + 30 \cdot (0 - 0,05) \quad [\%]$$

$$Ni_e = 23,4 \quad \%$$



Obr. 20 Schaefflerův strukturní diagram chromniklových ocelí [27]

Vynesení chromových a niklových ekvivalentů ukázalo, že ocel 1.4845 zasahuje do oblastí vzniku trhlin za horka a křehnutí vlivem fáze σ . Přídavný materiál spadá do stejné oblasti. V průběhu výroby součástí popsanych v kapitole „7.1 Vyrobené součásti a použité postupy“ výrobce nezaznamenal problémy s trhlínami za horka. Pokud by v budoucnu došlo k výskytu těchto trhlin, řešením by mohla být volba přídavného materiálu s vyšším obsahem feritu δ . Obsah této fáze ve struktuře by zvýšil houževnatost svarů a zamezil vzniku trhlin za horka. Naopak přílišný obsah feritu δ by mohl způsobit snížení korozivzdornosti a při dlouhodobém použití při teplotách nad 700 °C by docházelo k postupnému křehnutí svarů. [24],[27]

Trhliny za horka

Za vysokých teplot (nad 850 °C) při ochlazování svarových spojů dochází ve svarovém kovu a tepelně ovlivněné oblasti k trhlínám za horka. Typy trhlin za horka [24], [27]:

- krystalizační – vznikají v průběhu tuhnutí ve svarovém kovu,
- likvační – vznikají ve svarovém kovu při vícevrstevném svařování nebo ve vysokohřátém podhousenkovém pásmu tepelně ovlivněné oblasti,
- polygonizační trhliny – známe jako trhliny z poklesu tažnosti. Tyto trhliny jsou typické pouze pro vysokolegované austenitické oceli a slitiny niklu. Vznik těchto trhlin je možný likvací v tepelně ovlivněné oblasti nebo ve svarovém kovu (pod 850 °C). Polygonizační trhliny souvisí s poruchami na hranicích přesouvajících se zrn v okolí teploty rekrystalizace.

Krystalizační trhliny jsou obvykle dány za vinu snížení tažnosti v okolí teploty solidu. Z metalurgického hlediska jsou za hlavní příčinu vzniku krystalizačních a likvačních trhlin považovány nízkotavitelná eutektika. Vznik těchto eutektik je možný díky obsahu S, B, P, Nb a Si ve svařovaném materiálu. Pro dostatečnou míru odolnosti proti trhlínám se doporučuje obsah S + P menší než 0,02 hmotnostního %. Vyvážení síry je možné zabezpečit přidáním Mn, který tvoří sulfidy α . Poměr Mn: S > 3 zajistí eliminaci nízkotavitelných sulfidů. [24], [27]

Zamezení trhlínám za horka [24], [27]:

- použití přídavných materiálů o vysoké čistotě,
- snížení vneseného tepla – sníží se růst zrna, množství natavené fáze a stupeň segregace,
- omezení deformací a napětí použitím vhodné technologie svařování, tvaru svarového spoje, popř. předehřevu,
- vyvarovat se housenek s malým průřezem – zejména v oblasti kořene svaru.

6 NÁVRH EXPERIMENTU

6.1 Rozbor stávající situace

6.1.1 Výrobní cyklus

Firma VN-Ú s.r.o. navrhla podle požadavků zákazníka konstrukční řešení a zpracovala technickou dokumentaci. Na základě této dokumentace byly laserem vyřezány rozvinuté tvary pro následné ohýbání na CNC ohraňovacích lisech. Ohýbání jednotlivých komponent bylo problematické vzhledem k velkému počtu zpevňovacích prolisů, dlouhým ohybům a zároveň požadované vysoké přesnosti. Požadavek na přesnost vyplynul zejména z uvažované technologie svařování TIG, která trpí špatnou přemostitelností spáry. Jakmile byly ohýbané komponenty předány na svařečské pracoviště, bylo nutné nalézt svařovací sekvenci, která umožní dostupnost všech spojů.

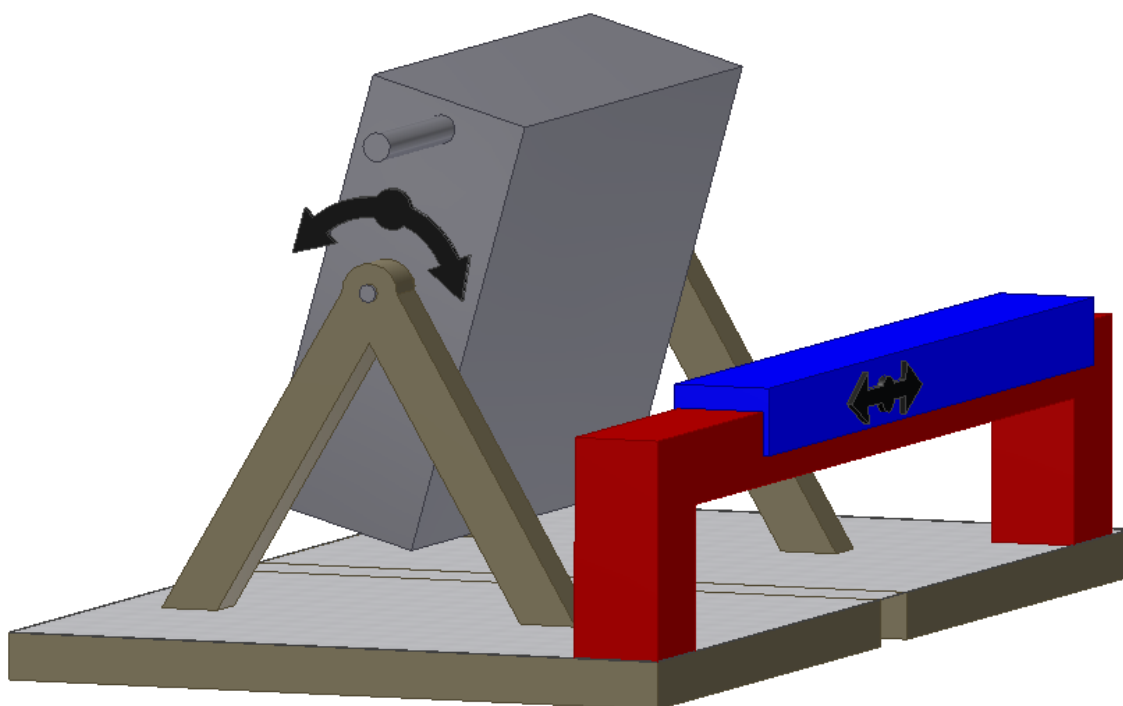
Doposud bylo vyrobeno celkem 9 kusů součástí „palivový článek“. Všechny tyto součásti byly použity v průběhu vývoje technologie pomalého termického rozkladu. Vývoj prováděný firmou Simul Trust s.r.o. (později s partnerem Hedviga Bioenergy s.r.o.) přinesl do konstrukce součásti velké množství změn. Tomuto byla přizpůsobována výrobní technologie, přesto jsou všechny „palivové články“ naprosto srovnatelné v rámci hledisek posuzovaných v této práci.

Všechny tyto součásti obstály při použití v laboratorním zařízení pro pomalý termický rozklad ve Vratimově. Náročnost na výrobu při použití metod uvedených v zadání této práce se však velmi liší. Důvodem pro hledání alternativ k čistě TIG svařování byla neuspokojivá produktivita výroby, tím pádem vysoká cena výrobku a nedostatečná výrobní kapacita.

Technologie použitá u jednotlivých vyrobených kusů bude uvedena v kapitole „7.1 Vyrobené součásti a použité postupy“. Zároveň budou diskutovány rozdíly při použití těchto postupů jako produktivita a jiné provozní specifiky.

6.1.2. Pracoviště

Na obrázku je vidět pracoviště s manipulačním přípravkem použitým při výrobě součástí PC001-PC008. Součástí lze snadno otáčet a dosáhnout tak dostupnosti svarů. Podstatně se tak usnadní manipulace oproti předchozímu obracení součásti pomocí jeřábu a střídavému pokládání součásti na svařečský stůl a na podlahu. Sloupový jeřáb se zde používá pouze k prvnímu ustavení součásti pro dovařování dlouhých svarů vnějšího pláště. Součást je opatřena pouzdrem. Jakmile je palivový článek na pozici, kdy je pouzdro souosé s otvorem v přípravku, obsluha zasune nosné čepy a zajistí je. Součást je připravená pro dovařování. V pravé části obrázku je dále vidět lineární posuv připravený pro instalaci stanice svařeče. Tato inovace nebyla dosud vyzkoušena, ale předpokládá se další zrychlení svařování. Pohyb svařeče zde nahrazuje pohyb lineárního posuvu. Svařeč se tak nemusí posouvat a přerušovat dlouhý svar (hrana je dlouhá cca 2 m podle verze součásti). Vzhledem k tomu, že každé přerušování sváru zvyšuje pravděpodobnost vzniku netěsnosti, očekává se snížení počtu potřebných oprav a díky tomu další úspora nákladů.



Obr. 21 Pracoviště s manipulačním přípravkem

6.2 Požadavky kladené na součást

Proces pomalého termického rozkladu klade na palivový článek specifické požadavky. Jak již bylo zmíněno, pracovní teplota se zde pohybuje v rozmezí 480-600 °C. V případě selhání regulace nebo při jiném havarijním stavu je však nezbytné počítat s možností přehřátí na 800-900 °C. Kromě vysoké teploty je však nutné věnovat pozornost prostředí vznikajícímu uvnitř článku. V průběhu procesu zde dochází ke vzniku směsi plynů CO, CO₂, N₂, CH₄, H₂. Vnější plášť i potrubí odvádějící plynou fází tedy musí být dokonale těsný. Případný únik výbušného metanu do horké pece by mohl představovat významné bezpečnostní riziko. Z tohoto důvodu byla stanovena kontrola každého hotového kusu zkouškou těsnosti při tlaku 1,2 bar po dobu 12 hodin. V průběhu výroby byly svary kontrolovány penetrační - kapilární zkouškou. [1], [2], [28], [29], [30], [31], [32]

Pozornost je dále třeba věnovat možnému riziku koroze kvůli chemicky agresivnímu prostředí a zvýšené teplotě, která zrychluje průběh oxidačně redukční reakce. Při svařování dochází ve struktuře korozivzdorné oceli k precipitaci karbidů chromu. V případě, že bude tato precipitace příliš rozsáhlá, mohlo by dojít k takovému ochuzení okolního materiálu o chrom, že by hrozilo riziko vzniku mezikrystalové koroze, a tím vady svaru. Dalším rizikem je bodová koroze. Ta se tvoří v místech s nekovovými vměstkami (sulfidy apod.), i proto je třeba se takovým vměstkům ve svaru vyvarovat. Při určitém druhu zpracovávaného odpadu by mohla koncentrace vodíku stoupnout natolik, že by bylo nutné se zabývat možností vzniku tzv. „vodíkové koroze“. To by mělo za následek křehnutí svarů a zvýšenou pravděpodobnost jejich praskání. V extrémním případě pak hrozí vznik

puchýřů a silné oduhličení povrchu. Zákazník nevyslovil konkrétní požadavek na životnost zařízení, v případě výroby pro průmyslovou aplikaci se počítá i se servisem zařízení a proto by bylo nutné korozi svarů z dlouhodobého hlediska dále zkoumat. Zatím však nebylo žádné ze zařízení v provozu dostatečně dlouho, aby bylo možné získat relevantní výsledky. [1], [2], [28], [29], [30], [31], [32]

Palivový článek samotný (podle konkrétní řady) váží cca 1000 kg a je naplněn až 600 kg materiálu ke zpracování, proto je nutné dbát na tuhost celé konstrukce a manipulačních prvků.

Shrnutí známých požadavků:

- bezpečně odolávat statickému a dynamickému zatížení v provozních podmínkách, popř. dilatačnímu a termodynamickému namáhání,
- odolnost vůči chemicky agresivnímu prostředí,
- plynutěsnost.

6.3 Cíle experimentu

Cílem této práce je porovnat dostupné metody svařování z hlediska technického a ekonomického při aplikaci pro danou součást. Vzhledem k časové náročnosti není možné zkoumat odolnost svarů vůči působení chemického prostředí, přesto bude u jednotlivých metod uvedena na úrovni teoretických předpokladů. Zkoumány budou mechanické charakteristiky svarů u jednotlivých metod a četnost výskytu netěsností. Vzhledem k tomu, že není možné přesně definovat podmínky namáhání palivového článku a nejsou stanoveny cílové hodnoty těchto veličin. Půjde tedy čistě o porovnání. Jakmile budou jednotlivé součásti dostatečně prověřeny provozem, bude možné získané výsledky a závěry této práce dále rozvíjet a interpretovat v širším měřítku.

Počítačová simulace problému se ukázala jako nevhodná. Zadání pro vytvoření simulovaného prostředí je příliš nejasné, navíc se neustále objevuje velké množství změn. Výsledky takové simulace by pak byly velmi nepřesné a celková náročnost činí tuto variantu nerentabilní.

6.4 Navrhované zkoušky

Experiment je zaměřen na srovnání uvedených metod svařování z hlediska technického, provozního a ekonomického. Právě zlepšení ekonomičnosti výroby součásti a rozšíření výrobní kapacity bylo hlavním důvodem pro hledání alternativ k svařování čistě metodou TIG. Navrhovaný experiment má za úkol prokázat náchylnost jednotlivých metod k vadám těsnosti svarů, dále vyhodnotit mechanické vlastnosti svarů zhotovených uvedenými metodami a vyhodnotit dosaženou ekonomičnost svařování. Na základě těchto požadavků navrhuji následující zkoušky. [33], [34], [35], [36],

6.4.1 Navrhované zkoušky součástí

Náchylnost jednotlivých metod k vadám těsnosti svarů je nutné provádět přímo na jednotlivých součástech. Vzhledem k dostupnosti svarů navrhuji **kapilární zkoušku průsakovou** pro vnitřní uspořádání součásti. Pro ověření těsnosti vnějšího pláště navrhuji jednoduchou **tlakovou zkoušku** stlačeným vzduchem. Tyto zkoušky budou blíže rozebrány v experimentální části této práce, včetně získaných výsledků. [33], [34], [35], [36],

6.4.2 Navrhované zkoušky vzorků

Pro zjištění mechanických vlastností svarů dosažených jednotlivými metodami je nutné provést destruktivní zkoušky vzorků. Tato zkušební tělesa budou zhotovena ze stejného materiálu, který byl použit na výrobu součásti a svařené za stejných podmínek (parametry zdroje, přídavný materiál, ochranný plyn).

Vzhledem k předpokládanému namáhání navrhuji pro zjištění mechanických vlastností svarů natupo **příčnou zkoušku tahem**. [36]

Dále navrhuji **zkoušku lámavosti** pro vzorky svarů natupo. Účelem této zkoušky bude zjistit chování svárů a základního materiálu při namáhání ohybem. [36]

Vzhledem k předpokládanému namáhání navrhuji **zkoušku rozlomením** pro posouzení výskytu vnitřních vad svarů. Tato zkouška bude provedena u koutových svarů. [36]

Uvedené zkoušky budou blíže rozebrány v experimentální části této práce včetně získaných výsledků.

7 EXPERIMENT

7.1 Vyrobené součásti a použité postupy

Společné znaky jednotlivých postupů svařování

Jednotlivé komponenty byly nejprve nabodovány na požadované pozice metodou TIG. Tyto bodové svary jsou dostatečně pevné pro zafixování jednotlivých komponent na místě a zároveň velmi malé, což je výhodné pro následné převaření. Čím menší bodový svar je, tím je menší riziko výskytu netěsnosti finálního svaru v daném místě. Celé svařování provádí dva pracovníci.

Tab. 6 Použité parametry bodové svařování

Svařovací proud	68 A
Napětí	17,5 V
Průtok ochranného plynu	14 l/min
Elektroda	WT
Režim zdroje	Nepulsní
Ochranný plyn	Argon 4,6
Přídavný materiál	-

Plyn

Název: Argon

Označení: GA260, Argon 4.6 – čistota 99,996 %

Druh: Inertní, stlačený

Výrobce: LindeTechnoplyn a.s.

Charakteristika:

- dobře ionizovatelný, pozitivní vliv na stabilitu oblouku,
- vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu.

Po nabodování následuje samotné svařování. Všechny svarové plochy byly upraveny pro V-svar s úhlem rozevření 30°. Vzhledem k nepříjemné náročnosti oprav netěsností vnitřního uspořádání bylo rozhodnuto, že tato část (asi 25 m sváru z celkových 50 m) „palivového článku“ bude svařena čistě metodou TIG u všech součástí. U této metody se předpokládá nejvyšší kvalita i díky dlouholetým zkušenostem výrobce.

Etapy svařování součástí:

- 1) Bodování vnitřního uspořádání TIG
- 2) Provaření kořene vnitřního uspořádání
- 3) Krycí svar vnitřního uspořádání TIG
- 4) Bodování vnějšího pláště TIG
- 5) Provaření kořene vnějšího TIG
- 6) Krycí svar vnějšího pláště TIG (popř. MAG, CMT)

7.1.1 Součásti vyrobené TIG – TIG

Při postupu TIG – TIG bylo provedeno provaření kořene metodou TIG bez přídavného materiálu a následoval krycí svar taktéž metodou TIG, ale již za použití přídavného materiálu. Výrobce u toho postupu předpokládá zachování odolnosti svarů a svařovaného materiálu vůči prostředí, příznivé mechanické vlastnosti, minimální výskyt netěsností a téměř nulová potřeba čištění svaru nebo jeho okolí. Problémem tohoto postupu je však velmi nízká produktivita.

Součást PC000

Pro výrobu prvního kusu (označen PC000) byla použita čistě metoda TIG a celé svařování trvalo 60 pracovních hodin. Tento čas však není možné srovnávat s ostatními vyrobenými kusy, pro které byl připraven speciální manipulační přípravek, viz kapitola „6.1.2 Pracoviště“. Kvalita svaru byla po vizuální stránce velmi dobrá. Po svařování nebylo nutné svar a jeho okolí čistit nebo jinak opracovávat. Penetrační zkouška těsnosti vnitřního uspořádání odhalila 3 vady těsnosti. Tlaková zkouška vnějšího pláště musela být několikrát opakována. Ukázalo se však, že výrazný pokles tlaku způsobila víka násypného otvoru. Vnější plášť byl tedy vyroben bez vady.

Součást PC001

Výroba PC001 byla provedena na manipulačním přípravku. Svařovací postup byl zachován. Výsledný čas potřebný ke svaření součásti byl 28 pracovních hodin. Vizuální kvalita svaru byla zachována. Po svařování nebylo nutné svar nijak opracovávat. Kapilární zkouška odhalila 7 vad těsnost vnitřního uspořádání. Při tlakové zkoušce vnějšího pláště se objevily 2 bodové vady svaru. Problémy zde způsobovala špatná dostupnost svaru kvůli uchycení víka násypného otvoru. Změna rozměru komponenty uchycení víka tento problém zcela vyřešila.

Tab. 7 Použité parametry svařování

Hlavní proud I_1 , závislý proud I_2	99 A, 35 A
Napětí	19 V
Rychlost svařování	20 cm/min=3,3 mm/s
Průtok ochranného plynu	14 l/min
Elektroda	WT
Režim zdroje	Pulsní
Čas svařování	28 hodin
Ochranný plyn	Argon 4,6
Přídavný materiál	Tigrod 310, Ø 1 mm

Vnesené teplo

$$\mu_{TIG} = 0,65$$

$$Q_{STIG} = \mu_{TIG} \cdot \left(\frac{U_{TIG} \cdot I_{TIG1}}{2 \cdot 1000 \cdot v_{sTIG}} + \frac{U_{TIG} \cdot I_{TIG2}}{2 \cdot 1000 \cdot v_{sTIG}} \right) = \quad (7.1)$$

$$= 0,65 \cdot \left(\frac{19 \cdot 99}{2 \cdot 1000 \cdot 3,3} + \frac{19 \cdot 35}{2 \cdot 1000 \cdot 3,3} \right) = 0,248 \frac{kJ}{mm}$$

Čím nižší je vnesené teplo, tím menší je náchylnost k horkým trhlinám, menší snížení korozivzdornosti, menší deformace a tím i nižší zbytkové napětí ve sváru.

Zařízení

Výrobce: Rehm

Typ: Invertig 460 GW

Plyn

Název: Argon

Označení: GA260, Argon 4.6 – čistota 99,996 %

Druh: Inertní, stlačený

Výrobce: LindeTechnoplyn a.s.

Použitý přídavný materiál:

Označení: OK Tigrod 310, Ø 1 mm

Výrobce: ESAB Vamberk

7.1.2 Součásti vyrobené TIG-MAG

Při postupu TIG – MAG bylo provedeno provaření kořene metodou TIG bez přídavného materiálu a následoval krycí svar metodou MAG. Výrobce u toho postupu předpokládá nižší odolnost svarů a tepelně ovlivněné oblasti vůči prostředí než v přechozím případě a mechanické vlastnosti srovnatelné s předchozí metodou. Očekává se výskyt netěsností v řádu jednotek, a to z důvodu problematictějšího navazování přerušené svarové housenky. Použitím tohoto postupu se produktivita svařování podstatně zvýšila. Pro svaření jednoho kusu výrobku je nyní potřeba 13 pracovních hodin. Problémem tohoto postupu je však

rozstřík svarového kovu při MAG svařování (v praxi známé jako „kuličky“) a časová náročnost jejich odstraňování. Čas potřebný na následné opracování je cca 3 pracovní hodiny.

Součást PC002

Výroba PC002 byla provedena na manipulačním přípravku, svařovacím postupem TIG-MAG. Po svařování bylo nutné svar očistit a odstranit „kuličky“ vzniklé rozstříkem svarového kovu. Penetrační zkouška těsnosti vnitřního uspořádání odhalila 2 vady. Tlaková zkouška vnějšího pláště odhalila 8 bodových vad svaru. Tyto problémy se vyskytovaly v místech napojování přerušovaných svarových housenek krycího svaru. Pro další výrobu bylo rozhodnuto o vybrušování konců přerušovaných housenek. Tento postup vykázal podstatné zlepšení produktivity i přes nutné opravy a nezbytné opracování svarů.

Součásti PC003, PC004, PC005

Při výrobě kusů PC003, PC004 a PC005 byl zachován stejný postup jako u předchozí součásti s jedinou změnou. Vybrušování konců přerušovaných svarů se ukázalo jako dostatečně řešení. Četnost výskytu netěsností se snížila na pouhé 3 místa v případě PC003, 4 místa v případě PC004 a 3 místa v případě PC005. Přesto, že vybrušování samotné znamená určitou časovou ztrátu, je stále výhodnější než následné opravy kvůli opakování manipulace a přípravy svařování. Penetrační zkouška těsnosti vnitřního uspořádání odhalila 2 vady u součásti PC003, 1 vadu u součásti PC004 a 2 vady u součásti PC005. Náročnost čištění a opracování svarů se nezměnila.

Tab. 8 Použité parametry svařování

Svařovací proud	180 A
Napětí	23,2 V
Rychlost svařování	40 cm/min=6,667 mm/s
Průtok ochranného plynu	14 l/min
Elektroda	Tavná
Režim zdroje	Stejnoseměrný proud
Čas svařování	13 (+2) hodin
Ochranný plyn	Cronigon S1
Přídavný materiál	Autrod 310, Ø1 mm

Vnesené teplo

$$\mu_{MAG} = 0,8$$

$$Q_{SMAG} = \mu_{MAG} \cdot \frac{U_{MAG} \cdot I_{MAG}}{v_{SMAG}} = \quad (7.2)$$

$$= 0,8 \cdot \frac{23,2 \cdot 172}{1000 \cdot 6,667} = 0,479 \frac{kJ}{mm}$$

Čím nižší je vnesené teplo, tím je menší je náchylnost k horkým trhlinám, menší snížení korozivzdornosti, menší deformace a tím nižší zbytkové napětí ve sváru.

Zařízení**Výrobce:** Migatronic**Typ:** MIG 305C**Plyn****Název:** Cronigon S1 (1 % O₂ + Argon)**Označení:** GA252 Cronigon S1**Druh:** Aktivní, stlačený**Výrobce:** LindeTechnoplyn a.s.**Charakteristika:**

- vhodné pro svařence do vysoce korozivního prostředí,
- dobré vlastnosti ve vodorovných polohách,
- nízký rozstřík a více strusky.

Použitý přídavný materiál:**Označení:** OK Autrod 310, Ø1 mm**Výrobce:** ESAB Vamberk**7.1.3 Součásti vyrobené TIG – CMT**

Při postupu TIG – CMT bylo provedeno provaření kořene metodou TIG bez přídavného materiálu a následoval krycí svar metodou CMT. Výrobce u toho postupu předpokládá odolnost svarů vůči prostředí a mechanické vlastnosti srovnatelné s metodou TIG. Očekává se výskyt netěsností v řádu jednotek, vzhledem k malým zkušenostem pracovníků s metodou a zařízením. Naopak navazování přerušené svarové housenky je zde bez problémů. Použitím této metody se produktivita svařování oproti předchozímu postupu zvýšila. Pro svaření jednoho kusu výrobku je nyní potřeba 12 pracovních hodin. Díky bezroztřikovému přenosu kovu odpadá následné opracování, což významně zvyšuje produktivitu výroby součástí.

Součást PC006

Výroba PC006 byla provedena na manipulačním přípravku, svařovacím postupem TIG-CMT. Po svařování nebylo nutné svar dále opracovávat. Penetrační zkouška těsnosti vnitřního uspořádání odhalila 2 vady. Tlaková zkouška vnějšího pláště odhalila 2 bodové vady svaru. Tyto problémy lze přisoudit již zmíněným nedostatečným zkušenostem pracovníků provádějících svařování. Tímto postupem bylo dosaženo dalšího zlepšení produktivity díky minimu oprav a odpadajícímu opracování svarů.

Součásti PC007, PC008

Při výrobě kusů PC007 a PC008 byl zachován stejný postup jako u předchozí součásti, avšak s jedinou změnou. Přepřátované svary, tvořící cca 20 % vnějšího pláště, byly svařeny přímo metodou CMT bez provařování kořene metodou TIG. Četnost výskytu netěsností se v podstatě nezměnila, pouze 3 místa v případě PC007 a 2 místa v případě PC008. Penetrační zkouška těsnosti vnitřního uspořádání odhalila 1 vadu u PC007 a 1 vadu u PC008. Díky změně postupu svařování přepřátovaných svarů došlo k úspoře 2 pracovních hodin. Výroba součásti tedy trvala 10 pracovních hodin.

Tab. 9 Použité parametry svařování

Svařovací proud	166 A (125A)
Napětí	17,9 V (16,6V)
Rychlost svařování	55cm/min=9,17mm/s
Průtok ochranného plynu	14 l/min
Elektroda	tavná
Režim zdroje	CMT
Čas svařování	10 hodin
Ochranný plyn	Stargon C2
Přídavný materiál	Autrod 310, Ø1 mm

Vnesené teplo

$$\mu_{CMT} = 0,8$$

$$Q_{SCMT} = \mu_{CMT} \cdot \frac{U_{CMT} \cdot I_{CMT}}{v_{sCMT}} = \quad (7.2)$$

$$= 0,8 \cdot \frac{17,9 \cdot 166}{1000 \cdot 9,17} = 0,259 \frac{kJ}{mm}$$

Čím nižší je vnesené teplo, tím menší je náchylnost k horkým trhlinám, menší snížení korozivzdornosti, menší deformace a tím nižší zbytkové napětí ve sváru.

Zařízení

Výrobce: Fronius

Typ: CMT TransPuls Synergic 2700 CMT

Plyn

Název: Cronigon S1 (1 % O₂ + Argon)

Označení: GA252 Cronigon S1

Druh: Aktivní, stlačený

Výrobce: LindeTechnoplyn a.s.

7.2 Zkoušky těsnosti součástí

7.2.1 Zkouška kapilární (penetrační) průsaková

Kapilární zkouška patří mezi nedestruktivní zkoušky. Rozlišujeme kapilární zkoušku ke zjištění povrchových vad svarů a kapilární zkoušku průsakovou, která slouží k detekci vad souvisejících s oběma povrchy současně. Způsob provedení těchto zkoušek se liší jenom minimálně, ale pro účely této práce se budeme zabývat pouze zkouškou průsakovou. [33], [36]

Kapilární průsaková zkouška je velmi jednoduchý postup pro ověření těsnosti svaru, který lze snadno aplikovat i v provozních podmínkách. Pro realizaci této zkoušky se používá penetrantů, které mají vhodné vztlínací a smáčivé vlastnosti. Po nanesení penetrantu z jedné strany zkoušeného svaru proniká tato látka do nečelistvostí a díky vztlínání a kapilárním silám se dostává až k protějšímu povrchu. Nanesením tzv. vývojky na tento povrch zviditelníme místo vady díky barevné (popř. fluorescenční) reakci s penetrantem. Zkouška podléhá normám ISO 5817 a ISO 10042. Tloušťka zkoušeného materiálu má zásadní vliv na čas, který je nutný k proniknutí penetrantu skrz netěsnost. Tomu je třeba přizpůsobit dobu sledování součásti. Doporučuje se před použitím penetrantu a vývojky důkladně očistit povrch svaru od okují, mastnoty a podně. [33], [34], [36]

Samotné provádění zkoušky velmi zjednodušuje použití defektoskopické sady, která je na trhu běžně dostupná. Sada Reinke od firmy Technotrenn se skládá ze 3 složek ve formě sprejů [34]:

- Reinke Rot – penetrant,
- Reinke Grun – čistič,
- Reinke Wiess – vývojka.



Obr. 22 Ilustrační obrázek výsledku penetrační zkoušky [36]

V našem případě byly asi po 30-ti minutách zřetelné výsledky. Tato zkouška byla použita pro zkoušky těsnosti vnitřního uspořádání jednotlivých součástí, přičemž všechny tyto součásti byly svařeny metodou TIG.

Tab. 10 Výsledky a vyhodnocení zkoušky vnitřního uspořádání:

Součást	PC000	PC001	PC002	PC003	PC004	PC005	PC006	PC007	PC008
Metoda svařování	TIG-TIG								
Počet netěsností	3	7	2	2	1	2	2	1	1

Výsledky uvedené v tabulce ukazují poměrně malý výskyt vad těsnosti a dokazují tak vysokou kvalitu dosahovanou metodou TIG. Vyšší četnost netěsností u součásti PC000 a PC001 je pravděpodobně způsobena získáváním povědomí o kritických místech součásti, kdy mezi těmito dvěma součástmi došlo ke konstrukčním úpravám. Vady těsnosti se objevovaly prakticky výhradně v místech špatné dostupnosti svaru a místech, kde se více svarů sbíhá do jednoho místa.

7.2.2 Zkouška tlaková

Konstrukce součásti s vyvedenými trubkami umožňuje snadné provedení tlakové zkoušky. Pomocí šroubení byl na vývody připojen tlakoměr a ventil pro plnění. V praxi se běžně používá zkouška těsnosti vakuovou komůrkou přiloženou na zkoušené místo. V našem případě místo odsávání vzduchu z komůrky využijeme tlak vzduchu zevnitř součásti. Na svarové spoje bude nanesen saponátový roztok a případná netěsnost bude indikována vznikem vzduchových bublin. Pokud nedojde k poklesu tlaku zobrazenému na tlakoměru, máme jistotu bezvadné těsnosti. Po dohodě se zákazníkem bylo rozhodnuto o tlakování na 1,2 MPa po dobu 12 hodin. Tímto způsobem vyloučíme i ty nejmenší netěsnosti. [35]



Obr. 23 Tlaková zkouška

Tab. 11 Výsledky a vyhodnocení zkoušky vnějšího pláště

Součást	PC000	PC001	PC002	PC003	PC004	PC005	PC006	PC007	PC008
Metoda svařování	TIG-TIG	TIG-TIG	TIG-MAG	TIG-MAG	TIG-MAG	TIG-MAG	TIG-CMT	TIG-CMT	TIG-CMT
Počet netěsností	0	2	8	3	4	3	2	3	2

Z počtu výskytu netěsností u vyrobených součástí se dá soudit, že dané metody jsou z tohoto hlediska naprosto srovnatelné vzhledem k celkové délce svarů a jejich obtížné dostupnosti. Vysoký výskyt osmi netěsností u součásti PC002 byl pravděpodobně způsoben nedodržením pracovního postupu ze strany pracovníků provádějících svařování. Vzhledem k malým zkušenostem firmy s CMT svařováním se dá v budoucnu očekávat zlepšení dosahovaných výsledků.

7.3 Zkoušky mechanických vlastností vzorků

7.3.1 Příčná zkouška tahem (ČSN EN 895)

Zkouška je založená na principu namáhání zkušební tyče jednoosým tahovým zatížením až do jejího přetržení. Zkušební tyč je odebrána napříč svarovým spojem. Teplota okolí je v rozmezí 10-35 °C, ve zvláštních případech je stanovena jiná teplota. Rychlost se obvykle pohybuje v rozmezí 0,5-2 mm/min. [36]

Tahovou zkouškou zjišťujeme tyto mechanické vlastnosti spoje [36]:

- mez kluzu R_e ,
- mez pevnosti R_m ,
- tažnost a kontrakce.

Zkušební tyč je do trhacího stroje upnuta pomocí čelistí. Pohyb středního příčnicku, poháněného elektromotorem způsobuje zatěžování zkušební tyče silou F . Hodnoty zatížení jsou zapisovány do programu pro numerické a grafické zobrazení výsledků. [36]

Zkouška je prováděna na stroji ZD40 viz příloha 1.

Podmínky zkoušky:

- teplota okolí 20 °C,
- odběr vzorků ze svařovaného materiálu dle ČSN EN 1597-2.

Výsledky zkoušky tahem vzorků TIG-TIG:

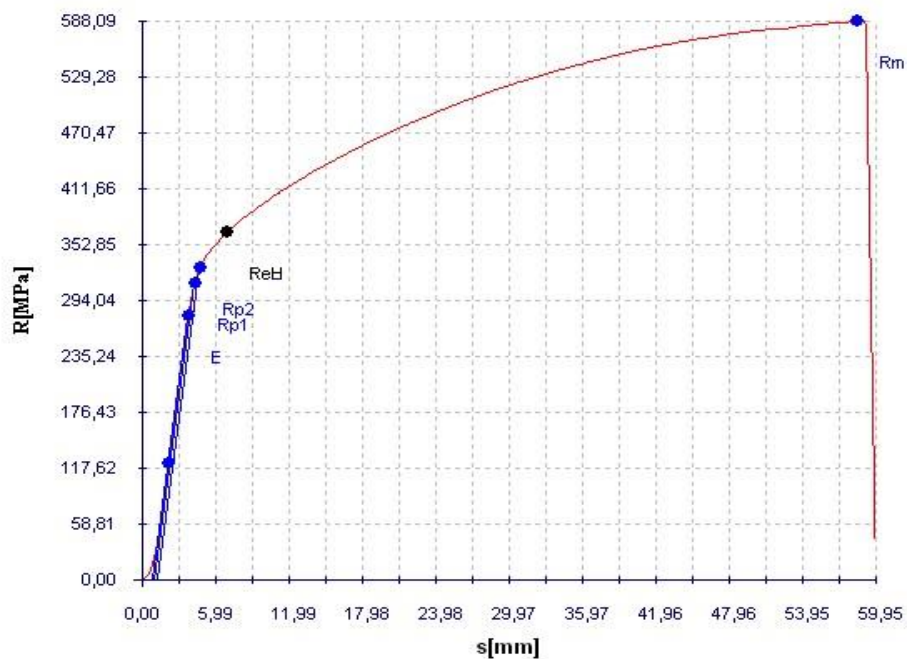
V následujících tabulkách jsou zobrazena data získaná ze zapisovače. Dále je přiložen graf tahové zkoušky jednoho ze vzorků. Zbylé grafy jsou obsaženy v příloze 4.

Tab. 12 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-TIG

Vzorek číslo	a[mm]	b[mm]	S_0 [mm ²]
1	2,94	19,60	57,62
2	2,94	19,60	57,62
3	2,94	19,60	57,62

Tab. 13 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-TIG

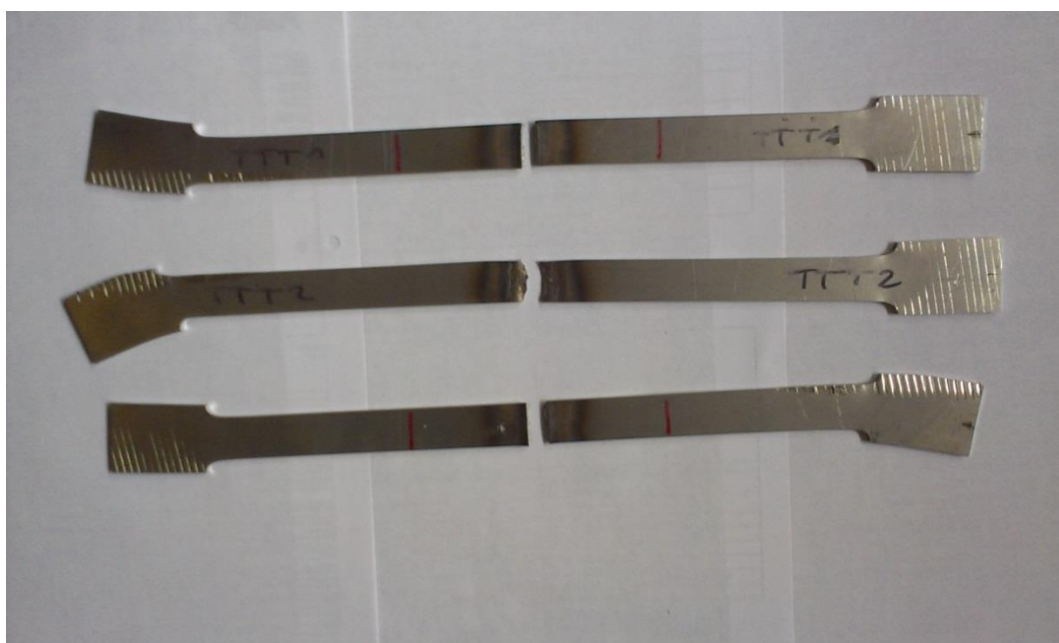
Vzorek číslo	F_m [N]	R_{p2} [MPa]	R_m [MPa]
1	33888,00	327,59	588,09
2	34358,40	326,28	596,25
3	33596,40	324,65	583,03



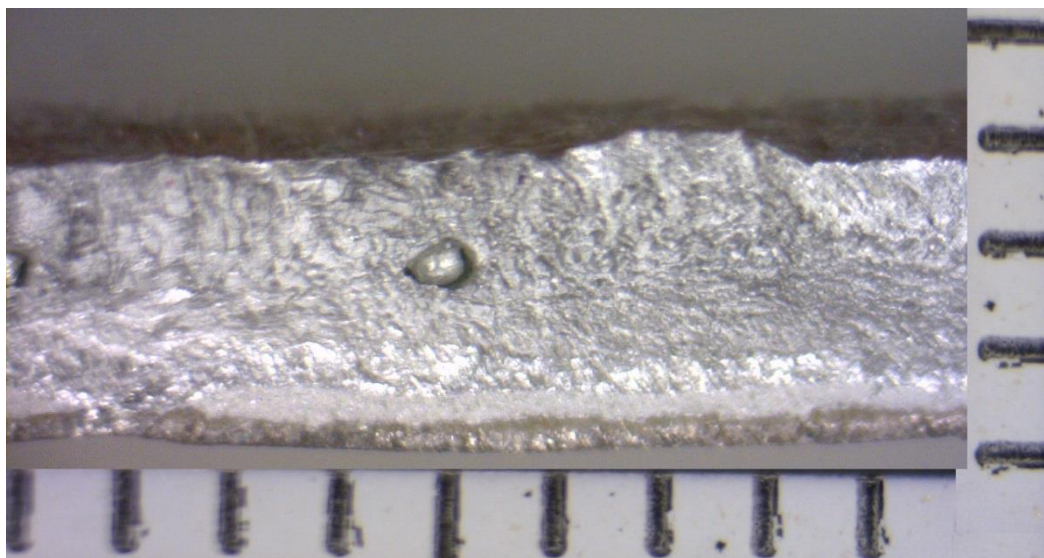
Obr. 24 Graf tahové zkoušky TIG-TIG

Hodnocení zkoušky

Zkušební vzorky vyrobené metodou TIG-TIG byly přetrženy ve svaru (obr. 25). Důvodem přetržení ve svaru byl neprovařený kořen svaru (cca 1/6 tloušťky) provedený metodou TIG a bodová vada svaru v krycím svaru (obr. 26). Přes výskyt těchto vad můžeme označit takto provedený svar za vyhovující pro danou součást, vzhledem k faktu, že k přetržení došlo daleko za mezí kluzu, za kterou by se součást neměla v provozu dostat. Mez pevnosti dokonce přesahuje minimální hodnoty udávané pro základní materiál (500 MPa).



Obr. 25 Vzorky TIG-TIG po tahové zkoušce



Obr. 26 Lomová plocha vzorku TIG-TIG při zvětšení 20x (doplněna milimetrová stupnice)

Výsledky zkoušky tahem vzorků TIG-MAG:

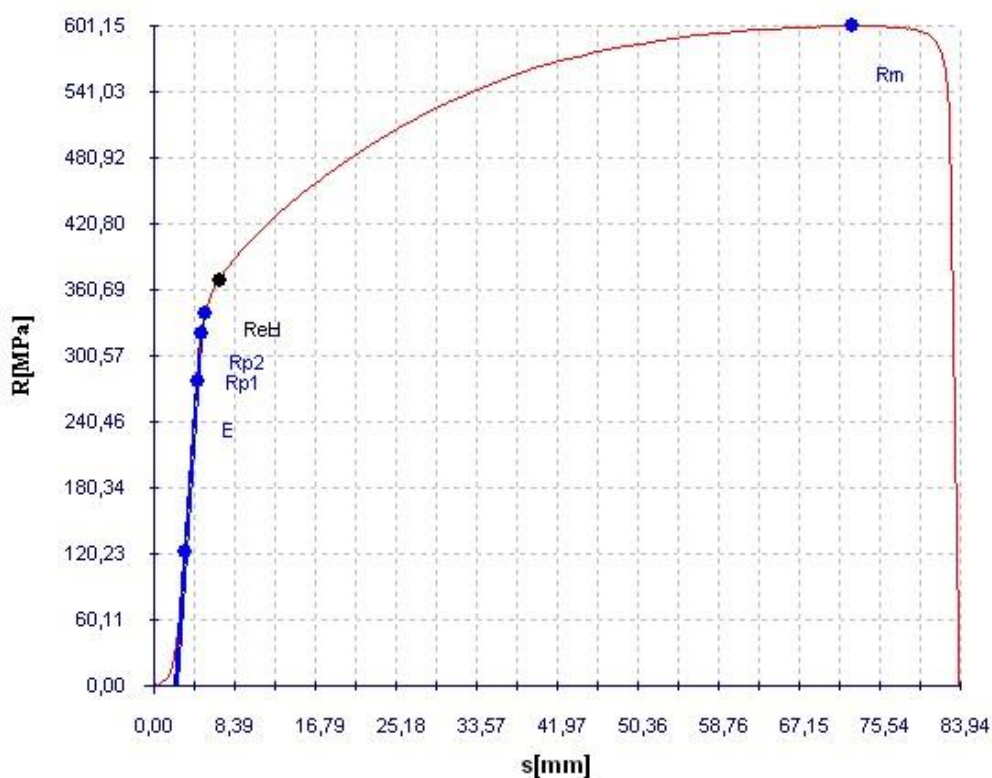
V následujících tabulkách jsou zobrazena data získaná ze zapisovače. Dále je přiložen graf tahové zkoušky jednoho ze vzorků. Zbylé grafy jsou obsaženy v příloze 4.

Tab. 14 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-MAG

Vzorek číslo	a[mm]	b[mm]	S ₀ [mm ²]
1	2,94	19,60	57,62
2	2,94	19,60	57,62
3	2,94	19,60	57,62

Tab. 15 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-MAG

Vzorek číslo	F _m [N]	R _{p2} [MPa]	R _m [MPa]
1	34621,60	347,01	600,82
2	34377,20	334,93	596,58
3	34640,40	338,69	601,15



Obr. 27 Graf tahové zkoušky TIG-MAG

Hodnocení zkoušky

Zkušební vzorky vyrobené metodou TIG-MAG byly přetrženy daleko mimo tepelně ovlivněnou oblast a bylo tak dosaženo žádoucího výsledku. Vizuální vzhled svaru je ovšem neuspokojivý kvůli poměrně velkému rozstříku. Díky vyššímu vnesenému teplu ve srovnání s ostatními testovanými metodami bude pravděpodobně snížena korozivzdornost.

Výsledky zkoušky tahem vzorků TIG-CMT:

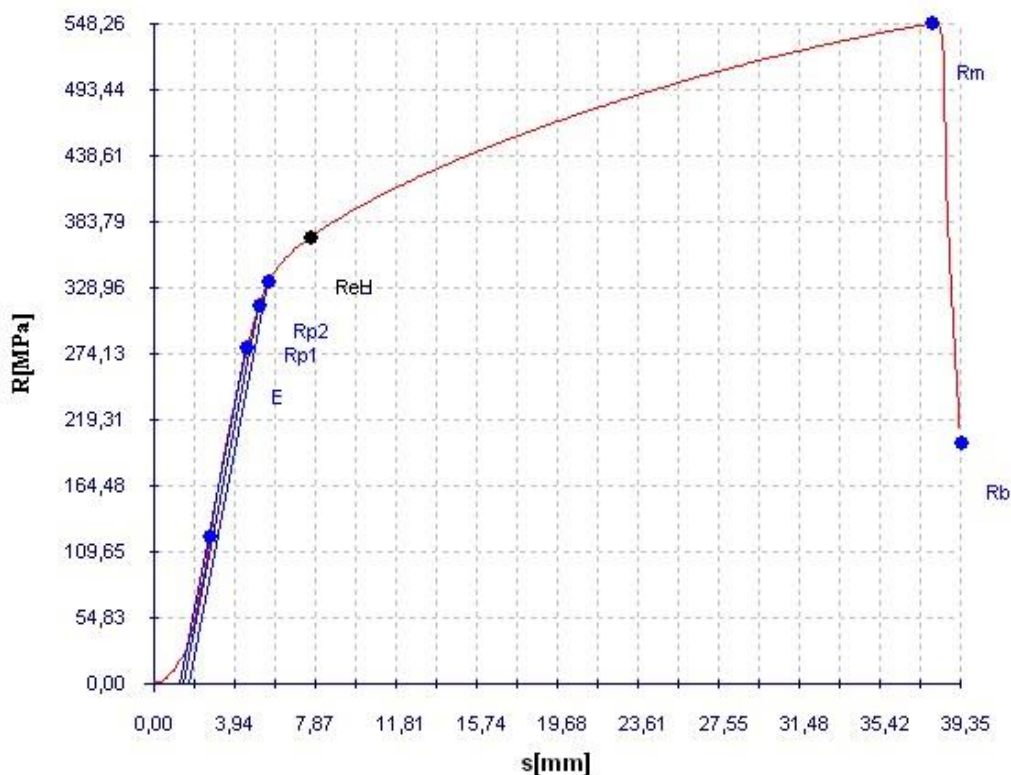
V následujících tabulkách jsou zobrazena data získaná ze zapisovače. Dále je přiložen graf tahové zkoušky jednoho ze vzorků. Zbylé grafy jsou obsaženy v příloze 4.

Tab. 16 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-CMT

Vzorek číslo	a[mm]	b[mm]	S_0 [mm ²]
1	2,94	19,60	57,62
2	2,94	19,60	57,62
3	2,94	19,60	57,62

Tab. 17 Naměřené hodnoty při tahové zkoušce TIG-CMT

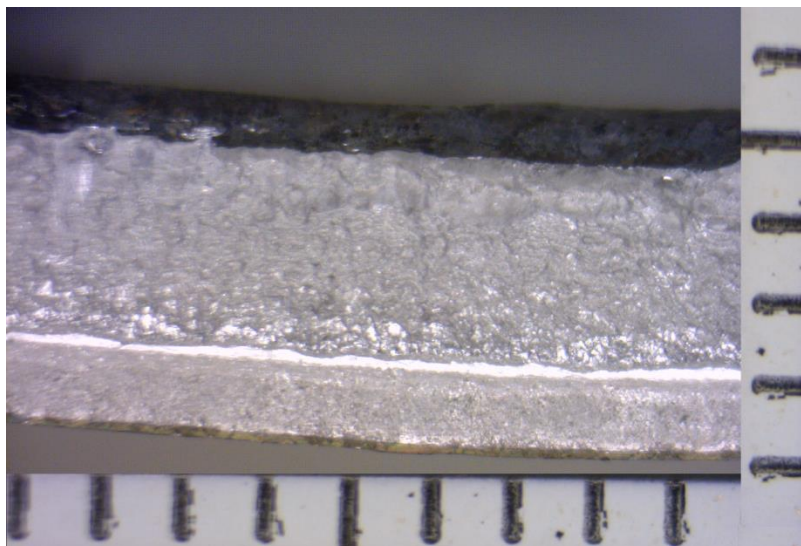
Vzorek číslo	F _m [N]	R _{p2} [MPa]	R _m [MPa]
1	31593,20	333,79	548,26
2	28771,60	331,83	499,30
3	27718,00	333,14	481,01



Obr. 28 Graf tahové zkoušky TIG-CMT

Hodnocení zkoušky

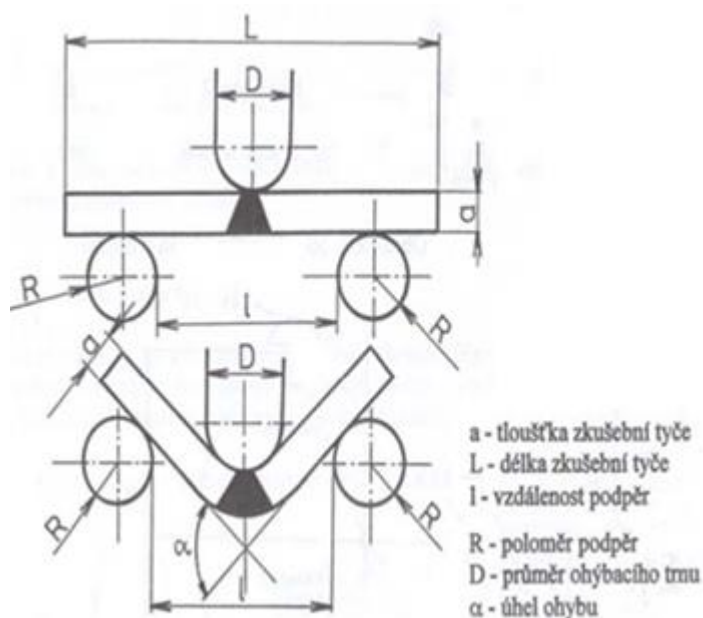
Zkušební vzorky vyrobené metodou TIG-CMT byly přetrženy ve svaru. Důvodem přetržení ve svaru byl opět neprovařený kořen svaru (cca 1/4 tloušťky) provedený metodou TIG (obr. 29). Přes výskyt této vady můžeme znovu označit takto provedený svar za vyhovující pro danou součást, vzhledem k faktu, že k přetržení došlo daleko za mezi kluzu, za kterou by se součást neměla v provozu dostat. Mez pevnosti u vzorku číslo 2 a 3 nabývá hodnot těsně pod hranici minimální hodnoty udávané pro základní materiál (500 MPa), což lze považovat za dostatečný výsledek.



Obr. 29 Lomová plocha vzorku TIG-CMT při zvětšení 20x (doplněna milimetrová stupnice)

7.3.2 Zkouška lámavosti (ČSN EN 910)

Princip zkoušky spočívá v ohybové deformaci. Pozornost je třeba věnovat orientaci vzorku v ohýbacím nástroji. Zkoušeny jsou vzorky zatěžované ze strany kořene svaru a další vzorky ze strany líce svaru. Vyhodnocuje se úhel ohybu, při kterém se objeví trhlina. Tato zkouška byla prováděna na stejném stroji jako příčná zkouška tahem. [36]



Obr. 30 Schéma – zkouška lámavosti [36]



Obr. 31 Vzorky po zkoušce ohybem



Obr. 32 Detail vzorků po zkoušce ohybem

Výsledky zkoušky lámavosti vzorků TIG-TIG

Tab. 18 Naměřené hodnoty při zkoušce rozlomením TIG-TIG

Vzorek číslo	Orientace proti ohybníku	a[mm]	b[mm]	S0[mm ²]	Fm[N]	úhel ohybu
1	povrch	2,95	19,6	57,82	846,4	138°
2	kořen	2,95	19,6	57,82	912,4	138°

Hodnocení zkoušky

Při zkoušce lámavosti vzorků TIG-TIG nedošlo ke vzniku trhlin ani při úhlech a síle uvedené v tabulce. Proces zde narazil na omezení dané nástrojem, který má příliš velké poloměry zaoblení (ohybník $R=15$ mm, ohybnice $R=25$ mm) pro danou tloušťku materiálu. Ke vzniku trhlin nedošlo ani při dodatečném volném dohnutí vzorků. Na následujících obrázcích je vidět kořen a povrch svaru při 20-ti násobném zvětšení. Ze strany kořene došlo k vyloučení oxidů chrómu, jelikož svar zde nebyl při svařování chráněn ochranným

plynem. Vyloučení oxidů chrómu je společným znakem všech srovnávaných metod a při výrobě součásti mu není možné zabránit. Rýha viditelná na kořeni TIG je způsobena mechanickým poškozením. Dále je viditelně neprovařený kořen TIG. Přes tuto vadu nedošlo k vzniku trhlin.



Obr. 33 Kořen svaru TIG-TIG po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)



Obr. 34 Povrch svaru TIG-MAG po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)

Výsledky zkoušky lámavosti vzorků TIG-MAG

Tab. 19 Naměřené hodnoty při zkoušce rozlomením TIG-MAG

Vzorek číslo	Orientace proti ohybníku	a[mm]	b[mm]	S ₀ [mm ²]	F _m [N]	úhel ohybu
1	povrch	2,95	19,6	57,82	1015,6	140°
2	kořen	2,95	19,6	57,82	1015,6	141°

Hodnocení zkoušky

Při zkoušce lámavosti vzorků TIG-MAG nedošlo ke vzniku trhlin ani při úhlech a síle uvedené v tabulce. Proces zde, stejně jako v předchozím případě, narazil na omezení dané nástrojem, který má příliš velké poloměry zaoblení (ohybník R=15 mm, ohybnice R = 25 mm) pro danou tloušťku materiálu. Ke vzniku trhlin nedošlo ani při dodatečném volném dohnutí vzorků. Na následujících obrázcích je vidět kořen a povrch svaru při 20-ti násobném zvětšení. Ze strany kořene došlo k vyloučení oxidů chrómu, jelikož svar zde nebyl při svařování chráněn ochranným plynem. Vyloučení oxidů chrómu je společným znakem všech srovnávaných metod a při výrobě součásti mu není možné zabránit.



Obr. 35 Kořen svaru TIG-MAG po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)



Obr. 36 Povrch svaru TIG-MAG po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)

Výsledky zkoušky lámavosti vzorků TIG-CMT

Tab. 20 Naměřené hodnoty při zkoušce rozlomením TIG-CMT

Vzorek číslo	Orientace proti ohybníku	a[mm]	b[mm]	S ₀ [mm ²]	F _m [N]	úhel ohybu
1	povrch	2,95	19,6	57,82	921,6	137°
2	kořen	2,95	19,6	57,82	940,4	138°

Hodnocení zkoušky

Při zkoušce lámavosti vzorků TIG-CMT opět nedošlo ke vzniku trhlin ani při úhlech a síle uvedené v tabulce. Proces zde, stejně jako v předchozích případech, narazil na omezení dané nástrojem, který má příliš velké poloměry zaoblení (ohybník R=15 mm, ohybnice R=25 mm) pro danou tloušťku materiálu. Ke vzniku trhlin nedošlo ani při dodatečném volném dohnutí vzorků. Na následujících obrázcích je vidět kořen a povrch svaru při 20-ti násobném zvětšení. Ze strany kořene došlo k vyloučení oxidů chrómu, jelikož svar zde nebyl při svařování chráněn ochranným plynem. Vyloučení oxidů chrómu je společným znakem všech srovnávaných metod a při výrobě součásti mu není možné zabránit.



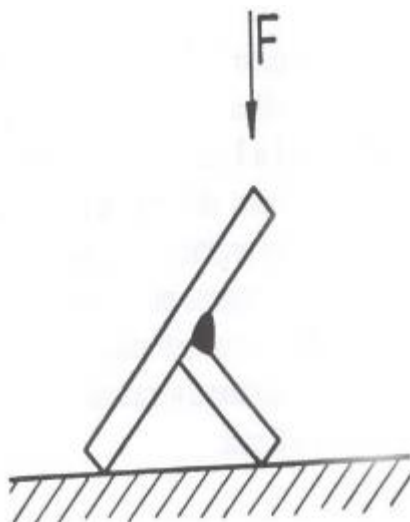
Obr. 37 Kořen svaru TIG-CMT po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)



Obr. 38 Povrch svaru TIG-CMT po zkoušce lámavosti (zvětšeno 20x)

7.3.3 Zkouška rozlomením (ČSN EN 1320)

Zkouška je založená na rozlomení spoje ve svarovém kovu tak, aby bylo možné zkoumat lomovou plochu. Vzorek může být zatěžován staticky nebo dynamicky ohybem, popř. krutem. Kontrolován je svarový spoj v celé délce, avšak rozdělený na několik zkušebních těles. Jedná se o nejjednodušší zkoušku ke zjištění typů a rozměrů vnitřních vad. [36]



Obr. 39 Zjednodušené schéma zkoušky rozlomením [36]

V tomto případě bylo rozlomení provedeno ručně ohybem s upnutím k pracovnímu stolu pomocí upínek se závitem.

Zkouška rozlomením vzorků TIG-TIG



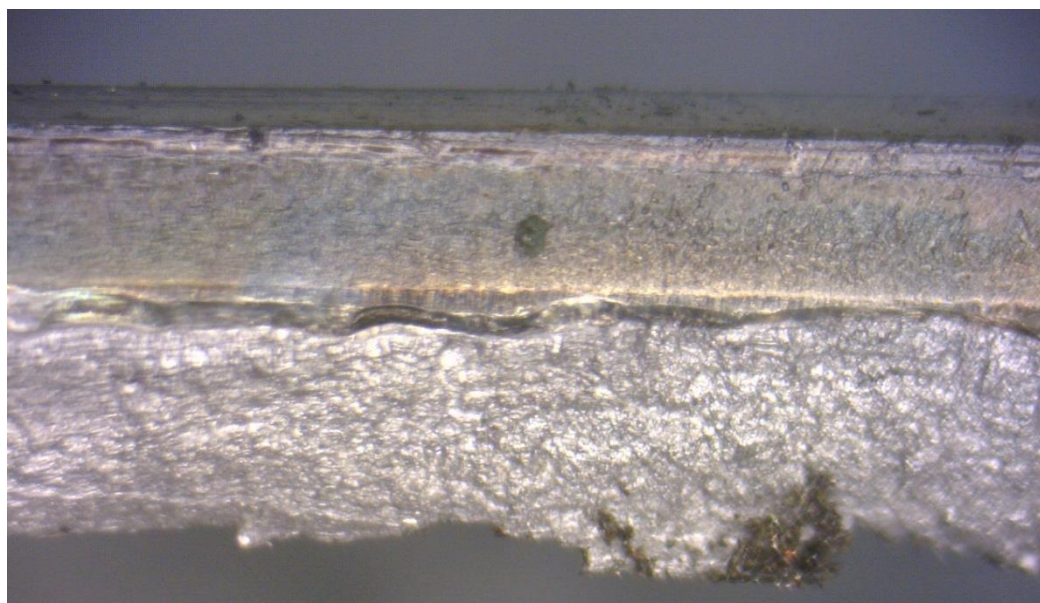
Obr. 40 Vzorky TIG-TIG pro zkoušku rozlomením

Hodnocení zkoušky

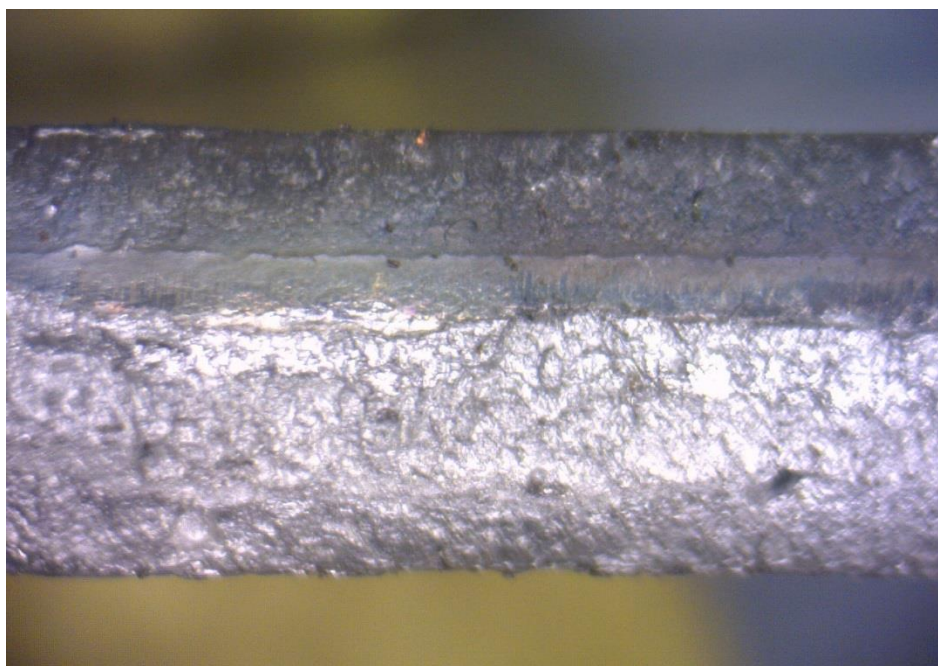
Při zkoušce rozlomením vzorků TIG-TIG bylo dosaženo tvárného lomu, jak je vidět na obr. 41. Po provedení zkoušky vykazuje vzorek č. 3 neprovaření kořene. Na obr. 42 je zřetelná linie oddělující základní materiál a svarový kov, což značí zmíněné neprovaření. Zbylé vzorky zhotovené metodou TIG-TIG nevykazují tuto, ani jinou vadu. Pro porovnání je zařazen obr. 43, kde je provaření kořene v pořádku. Jiné nedostatky se při zkoušce neobjevily.



Obr. 41 Detail vzorku TIG-TIG po zkoušce rozlomením



Obr. 42 Lomová plocha vzorku TIG-TIG č. 3 při zvětšení 20x



Obr. 43 Lomová plocha vzorku TIG-TIG č. 4 při zvětšení 20x

Zkouška rozlomením vzorků TIG-MAG



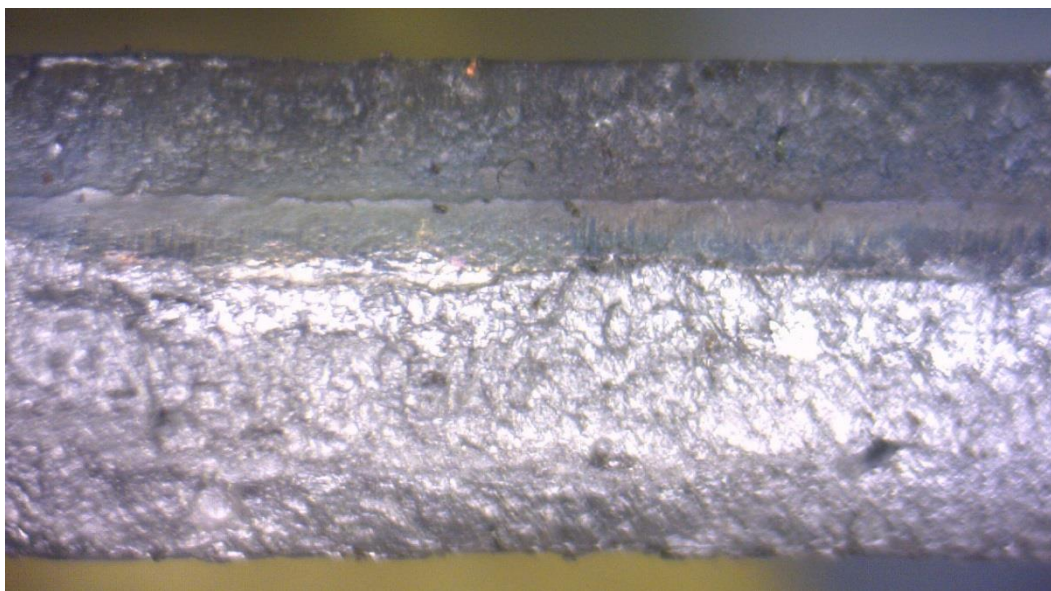
Obr. 44 Vzorky TIG-TIG pro zkoušku rozlomením

Hodnocení zkoušky

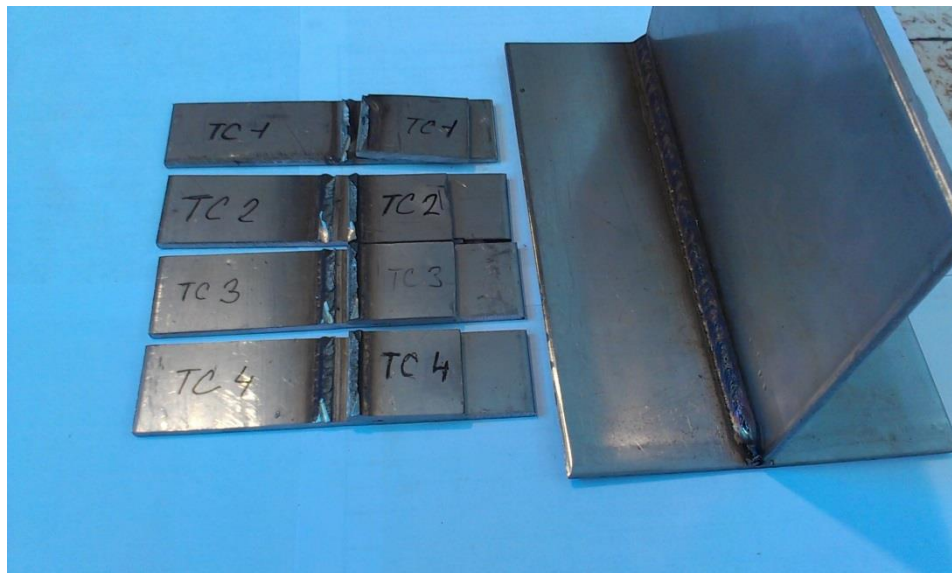
Při zkoušce rozlomením vzorků TIG-MAG bylo opět dosaženo tvárného lomu, který je typický pro daný materiál (Obr. 45). Zkouška zde neodhalila žádné vnitřní vady. Provaření kořene je dostatečné, jak je vidět na obr. 46. Určitým nedostatkem může být rozstřík svarového kovu okolo svaru snižující vizuální kvalitu výrobku. Odstranění rozstříku je časově náročné a prodlužuje tak čas výroby součásti.



Obr. 45 Detail vzorku TIG-MAG po zkoušce rozlomením



Obr. 46 Lomová plocha vzorku TIG-MAG č. 2 při zvětšení 20x

Zkouška rozlomením vzorků TIG-CMT

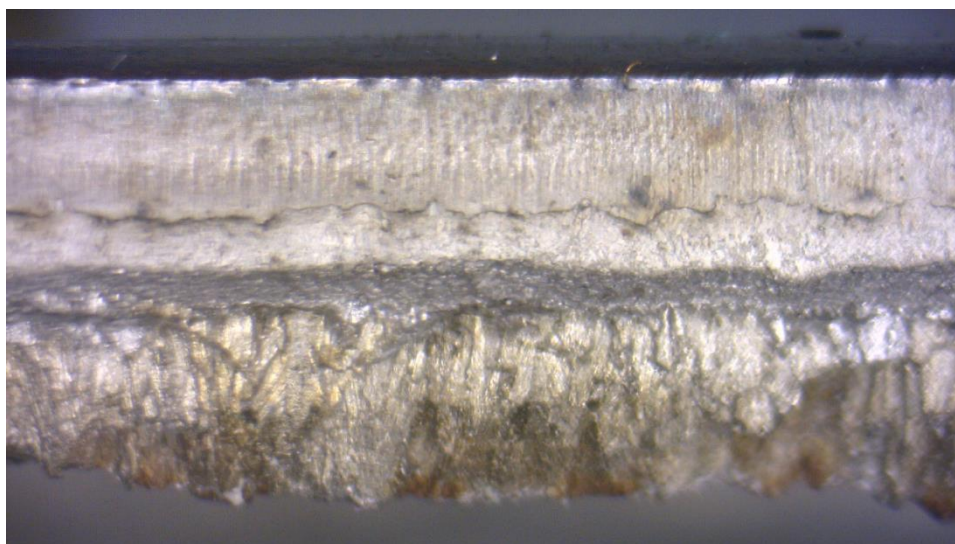
Obr. 47 Vzorky TIG-CMT pro zkoušku rozlomením

Hodnocení zkoušky

Při zkoušce rozlomením vzorků TIG-CMT bylo dosaženo tvárného lomu. Na lomové ploše vzorků TIG-CMT nedošlo k výskytu vnitřních vad. Provaření kořene je dostatečné. Jiné nedostatky se při zkoušce neobjevily.



Obr. 48 Detail vzorku TIG-CMT po zkoušce rozlomením



Obr. 49 Lomová plocha vzorku TIG-CMT č. 2 při zvětšení 20x

7.3.4 Makroskopická kontrola svarů

Makroskopická kontrola se provádí pro zjištění makroskopického charakteru svarového spoje. Vzorky pro tuto kontrolu se odebírají příčně k ose svaru a měly by zahrnovat svarový kov a tepelně ovlivněnou oblast na obou stranách. Plochy vzorku orientované příčně k ose materiálu se brousí, leští a naleptávají. Pozorování probíhá při malém zvětšení. Touto metodou prověřujeme vady jako studené spoje, vměstky, spojení jednotlivých svarových housenek a rozsah tepelně ovlivněné oblasti. [36]

Makroskopická kontrola vzorků TIG-TIG



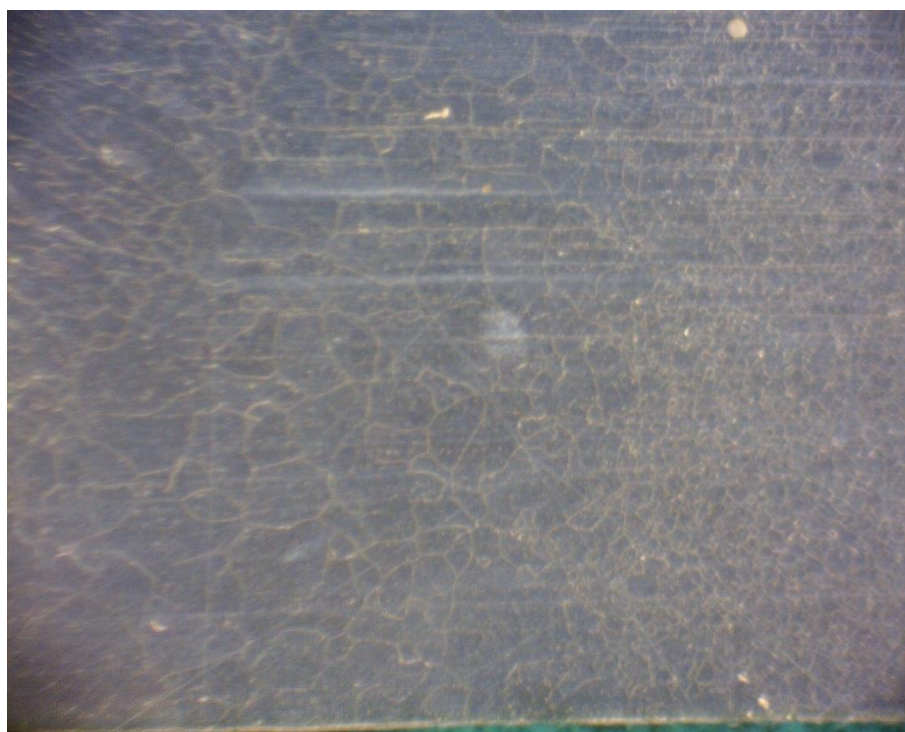
Obr. 50 Makrovýbrus svarového spoje TIG-TIG (doplněna milimetrová stupnice)

Hodnocení kontroly

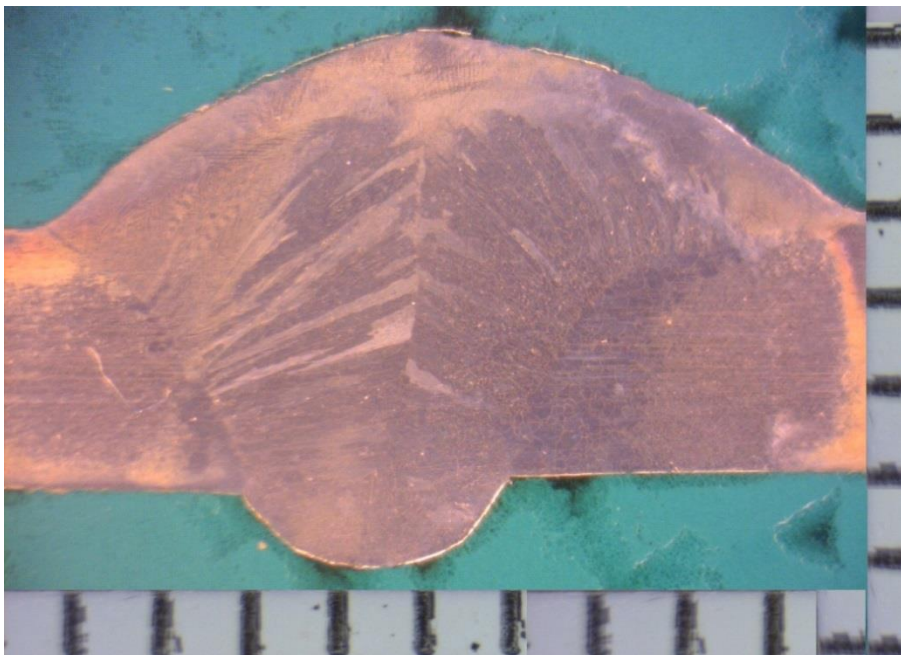
Na makrovýbrusu vzorku svarového spoje TIG-TIG nejsou zřetelně vidět hranice svarového kovu a tepelně ovlivněné oblasti. Obdobně nejasná je hranice základního materiálu a tepelně ovlivněné oblasti. V dolní části je vidět přeložení základního materiálu.



Obr. 51 Detail hranice svarového kovu a tepelně ovlivněné oblasti.



Obr. 52 Pohled na zhrublé zrno v tepelně ovlivněné oblasti

Makroskopická kontrola vzorků TIG-MAG

Obr. 53 Makrovýbrus svarového spoje TIG-MAG (doplněna milimetrová stupnice)

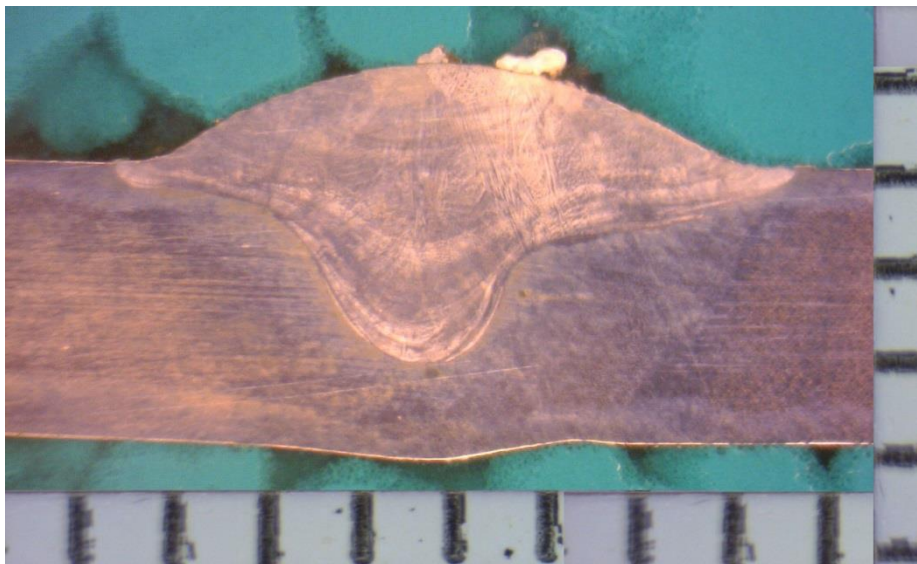
Hodnocení kontroly

Makrovýbrus spoje zhotoveného metodou TIG-MAG ukazuje velké převýšení svaru. Dále jsou zde jasně zřetelná dlouhá dendritická zrna typická pro daný materiál. Kořen provedený metodou TIG znovu prakticky není vidět, pravděpodobně z důvodu silného přetavení krycím svarem MAG.



Obr. 54 Detail dendritických zrn sbíhajících se do svislé linie ve svaru MAG

Makroskopická kontrola vzorků TIG-CMT



Obr. 55 Makrovýbrus svarového spoje TIG-CMT (doplněna milimetrová stupnice)

Hodnocení kontroly

Na makrostruktúře svarového spoje TIG-CMT je jasně viditelná hranice svaru CMT. Ve svarovém kovu jsou opět vidět dlouhá dendritická zrna. Velmi nevýrazná je opět hranice kořenového svaru TIG. Barevný přechod kopírující tvar svarového kovu značí hranici tepelně ovlivněné oblasti.



Obr. 56 Detail dendritických zrn v CMT svaru.

7.3.5 Mikroskopická kontrola svarů

Provádí se při 50-500 násobném zvětšení. Pozorujeme zde strukturní složky materiálu svaru, tepelně ovlivněnou oblast a hranice jednotlivých zrn. [36]



Obr. 57 Mikrostruktura základního materiálu

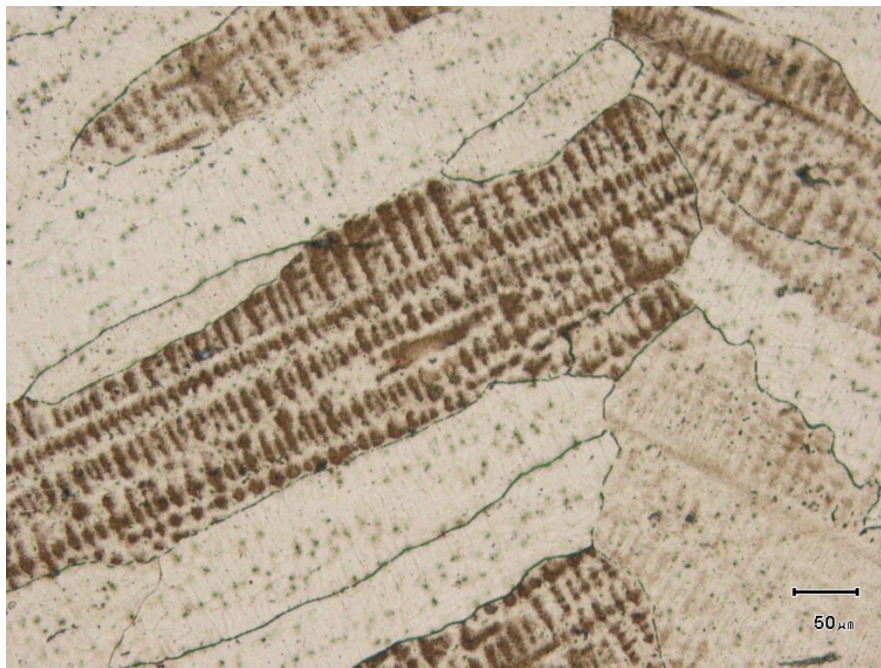
Na obr. 57 je austenitická struktura základního materiálu.

Mikroskopická kontrola vzorků TIG-TIG



Obr. 58 Mikrostruktura svarového kovu TIG-TIG

Na obr. 58 mikrostruktura svarového kovu TIG-TIG s poměrně nejasnými hranicemi zrn. Přesto je možné zde vysledovat náznaky dendritů.

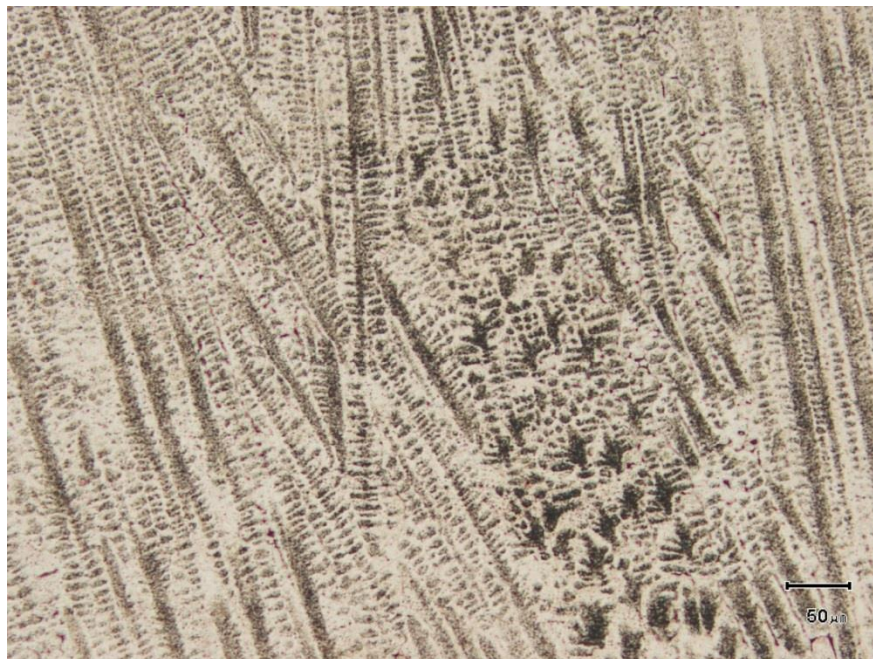
Mikroskopická kontrola vzorků TIG-MAG

Obr. 59 Mikrostruktura svarového kovu TIG-MAG

Na obr. 59 je mikrostruktura svaru TIG-MAG, kde je zřetelně viditelné sbíhání dendritů ke svislé linii.



Obr. 60 Zhrubnutí zrna v mikrostruktuře TIG-MAG

Mikroskopická kontrola vzorků TIG-CMT

Obr. 61 Dlouhá dendritická zrna ve svarovém kovu TIG-CMT



Obr. 62 Přechod mezi svarovým kovem a tepelně ovlivněnou oblastí TIG-CMT

7.4 Shrnutí experimentu

Jednou z hlavních částí této diplomové práce je experiment srovnávající dané metody svařování na základě nedestruktivních zkoušek součástí a destruktivních zkoušek vzorků. Tyto vzorky byly zhotoveny stejným způsobem, jaký byl použit při výrobě součástí.

Pro detekci netěsností součástí byly použity kapilární průsaková zkouška a zkouška tlaková.

První uvedená zkouška zkoumá pouze metodu TIG-TIG a výsledky, které lze touto metodou dosáhnout v oblasti plynutěsnosti svarů. Tato zkouška poukázala na spolehlivost a vyrovnané výsledky dosahované metodou TIG-TIG.

Tlaková zkouška srovnává uvedené metody svařování z hlediska těsnosti vnějšího pláště součástí. Výsledky této zkoušky ukázaly, že mezi jednotlivými metodami nejsou zásadní rozdíly.

Pro zjištění mechanických vlastností a výskytu vnitřních vad svarů byly použity příčná zkouška tahem a zkouška lámavosti pro tupé svary. Zkouška rozlomením byla použita pro koutové svary.

U příčné zkoušky tahem vzorků TIG-TIG došlo k přetržení ve svaru kvůli neprovařenému kořenu svaru. Při stejné zkoušce provedená u vzorků TIG-MAG došlo k přetržení v základním materiálu a bylo tak dosaženo ideálního stavu. Výsledky příčné zkoušky tahem vzorků TIG-CMT jsou obdobné jako u TIG-TIG. Opět došlo k přetržení ve svaru vlivem neprovaření kořene svaru. K přetržení vzorů všech metod došlo daleko za mezí kluzu, kam by se součást nikdy neměla dostat, a proto je můžeme považovat za vyhovující. Nejnižší hodnoty meze kluzu a pevnosti byly zjištěny u vzorků TIG-CMT. Nejnižší hodnota meze pevnosti zde byla naměřena $R_m = 481 \text{ MPa}$, což je velmi blízko minimální deklarované meze pevnosti základního materiálu, který je $R_m = 500 \text{ MPa}$.

Zkouška lámavosti narazila na omezení způsobené ohýbacím nástrojem. Vzorky nevykazovaly žádné trhliny ani při úhlu cca 140° . Po konzultaci se zástupci výrobce byl tento stav označen za dostatečný.

Zkouška rozlomením koutových svarů odhalila vadu pouze u jednoho vzorku zhotoveného metodou TIG-TIG, kde nebyl provařen kořen. Zbylé vzorky žádné vnitřní vady nevykazovaly. U vzorku TIG-MAG snižuje vizuální kvalitu velký rozstřík a u součástí je tak nutné jeho odstraňování. Přesto se opět jedná o vyhovující stav.

Dále byla provedena makroskopická kontrola svarů zhotovených porovnáváním metodami. Na všech výbrusech byly shodně viditelné podlouhlé dendrity typické pro daný materiál. V případě vzorků TIG-MAG byla jasně zřetelná svislá linie sbíhání dendritů. U vzorků TIG-TIG nejsou výrazně odděleny oblasti svarového kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu. Zbylé vzorky vykazují poměrně jasné ohraničení těchto oblastí.

Mikrostruktura základního materiálu je tvořena jemnozrnným austenitem. Na detailních fotografiích je zřetelné zhrubnutí zrna v tepelně ovlivněné oblasti. Dále jsou zde znovu jasně viditelná podlouhlá dendritická zrna ve svarovém kovu. Stejně jako u makrostruktury, je u výbrusu TIG-MAG patrné sbíhání zrn do svislé linie.

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Tato kapitola se zabývá ekonomickým zhodnocením popsané výroby. Cílem je vyčíslit náklady na výrobu jedné součásti pro popsané varianty a vyhodnotit návratnost investice do CMT zařízení. Ve výpočtech nejsou uvažovány náklady na svařovací zařízení TIG a MAG, jelikož jsou již součástí podniku.

Ekonomické zhodnocení bude provedeno pro varianty výroby TIG – TIG, TIG – MAG, TIG – CMT, které byly popsány v kapitole „7.1 Vyrobené součásti a použité postupy“. Uvažována bude vždy poslední, tedy nejvýhodnější dosažená modifikace postupu. Informace o cenách přídatných materiálů a ochranných plynů byly určeny firmou VN-Ú s.r.o. na základě nabídek jejich dodavatelů. Použité technické parametry součástí a mzdové tarify pracovníků rovněž byly určeny firmou VN-Ú s.r.o.

8.1 Náklady vstupující do procesu:

A) Přímé náklady společné pro všechny varianty

Náklady, které je možné přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu, jsou náklady **přímé**. Nákladovým objektem je v našem případě vyráběná součást. Pomocí těchto nákladů sledujeme náklady, které je potřeba vynaložit na nákladový objekt, např.: vstupní materiál a mzdové náklady. [37]

V jednotlivých fázích výroby součásti „palivový článek“ vznikají tyto náklady společné pro všechny varianty:

1) Bodové svařování vnitřního uspořádání metodou TIG

- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Tato část nákladů bude započítána poměrově k ostatním přímým nákladům.

2) Provaření kořene vnitřního uspořádání TIG

- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Délka svarů zpracovaných v této fázi $L_2 = 25$ m

3) Krycí svár vnitřního uspořádání TIG

- Přídavný materiál
- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Délka svarů zpracovaných v této fázi $L_3 = 25$ m

4) Bodové svařování vnějšího pláště TIG

- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Tato část nákladů bude započítána poměrově k ostatním přímým nákladům.

5) Provaření kořene vnějšího pláště TIG

- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Délka svarů zpracovaných v této fázi $L_5 = 25\text{m}$

B) Přímé náklady pro jednotlivé varianty

Přímé náklady na výrobu součásti vstupující do procesu ve fázi, která se různí pro jednotlivé varianty [37]:

6) Krycí svar vnějšího pláště TIG (MAG, CMT)

- Přídavný materiál
- Ochranný plyn
- Mzdové náklady

Délka svarů zpracovaných v této fázi $L_6 = 25\text{m}$.

C) Nepřímé náklady pro jednotlivé varianty

Náklady, které není možné přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu, jsou náklady **nepřímé**. [38]

- 1) Správní režie varianty
- 2) Výrobní režie varianty

8.2 Náklady společné

8.2.1 Přímé náklady společné pro všechny varianty

Náklady na přídavný materiál společné

Tab. 21 Vstupní hodnoty společných nákladů přímých I

Operace	Délka spoje při operaci
Krycí svár vnitřního uspořádání TIG	$L_3 = 25 \text{ m}$

Tab. 22 Vstupní hodnoty společných nákladů přímých II

Měrná hmotnost sváru koutového, přeplátovaného	$G_k := 0.071 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Měrná hmotnost sváru natupo	$G_T := 0.038 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Délka koutových svarů	10 % celkové svarů v operaci
Délka přeplátovaných svarů	20 % celkové svarů v operaci
Cena přídavného materiálu	$C_{PMTIG} = 620 \text{ Kč/kg}$

Koutové a přeplátované svary

Délka koutových a přeplátovaných svarů

$$L_{KP} = 0,3 \cdot L_3 = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ m} \quad (8.1)$$

kde L_{KP} ...délka koutových a přeplátovaných svarů společná [m]

Náklady na přídavný materiál koutových a přeplátovaných svarů

$$N_{PMKP} = G_k \cdot L_{KP} \cdot C_{PMTIG} = 0,071 \cdot 7,5 \cdot 620 = 330,15 \text{ Kč} \quad (8.2)$$

kde N_{PMKP} ...náklady na přídavný mat. - koutové a přeplát. svary společné [Kč]

Svary natupo

Délka svarů natupo

$$L_T = 0,7 \cdot L_3 = 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ m} \quad (8.3)$$

kde L_T ...délka svarů natupo společná [m]

Náklady na přídavný materiál svarů natupo

$$N_{PMT} = G_T \cdot L_T \cdot C_{PMTIG} = 0,038 \cdot 17,5 \cdot 620 = 412,3 \text{ Kč} \quad (8.4)$$

kde N_{PMT} ...náklady na přídavný materiál - svary natupo společné [Kč]

Náklady na ochranný plyn společně**Zadané hodnoty**

Tab. 23 Vstupní hodnoty společných nákladů přímých III

Operace	Délka spoje při operaci
Bodové svařování vnitřního uspořádání metodou TIG	$L_1 = 25$ m
Provaření kořene vnitřního uspořádání TIG	$L_2 = 25$ m
Krycí svár vnitřního uspořádání TIG	$L_3 = 25$ m
Bodové svařování vnějšího pláště TIG	$L_4 = 25$ m
Provaření kořene vnějšího pláště TIG	$L_5 = 25$ m

Pozn. Společná část se svařuje TIG, proto je označena indexy TIG

Tab. 24 Vstupní hodnoty společných nákladů přímých IV

Veličina	Označení a hodnota	Ve výpočtových jednotkách
Rychlost svařování	$v_{sTIG} = 20$ cm/min	$v_{sTIG} = 0,20$ m/min
Průtok ochranného plynu	$V_{OPTIG} = 14$ l/min	-
Ochranný plyn	Argon 4,6	-
Cena za láhev plynu	$C_{LAr} = 1865$ Kč	-
Objem plynu v láhvi	$Q_{LAr} = 11700$ l	-

Spotřeba plynu na metr

$$S_{OPTIG} = \frac{V_{OPTIG}}{v_{sTIG}} = \frac{14}{0,2} = 70 \text{ l/m} \quad (8.5)$$

kde S_{OPTIG}spotřeba ochranného plynu při TIG svařování [l/m]

Cena za litr argonu

$$C_{Ar} = \frac{C_{LAr}}{Q_{LAr}} = \frac{1865}{11700} = 0,159 \text{ Kč/l} \quad (8.6)$$

kde C_{Ar}cena ochranného plynu Argon [Kč/l]

Délky

$$L_{OPS} = L_2 + L_3 + L_5 = 25 + 25 + 25 = 75 \text{ m} \quad (8.7)$$

$$L_{Bod} = L_1 + L_4 = 25 + 25 = 50 \text{ m} \quad (8.8)$$

kde L_{OPS}délka svarů společná pro všechny varianty [m]

kde L_{Bod}délka spojů zafixovaných bodovými sváry [m]

Náklady na ochranný plyn společně tedy jsou:

- Náklady na ochranný plyn bodových svarů tvoří asi 65 % nákladů na průběžný svar

$$N_{OPS} = L_{OPS} \cdot S_{OPTIG} \cdot C_{Ar} + 0,65 \cdot L_{Bod} \cdot S_{OPTIG} \cdot C_{Ar} \quad (8.9)$$

$$N_{OPS} = 75 \cdot 70 \cdot 0,159 + 0,65 \cdot 50 \cdot 75 \cdot 0,159 = \mathbf{1\ 199,5 \text{ Kč}}$$

kde N_{OPS}náklady na ochranný plyn společně pro všechny varianty [Kč]

8.3 Náklady na kus – TIG – TIG

8.3.1 Přímé náklady na kus TIG – TIG

Tab. 25 Vstupní hodnoty přímých nákladů varianty

Operace	Délka spoje při operaci
Krycí svar vnějšího pláště TIG	$L_6 = 25\text{m}$

Náklady na přídatný materiál pro TIG-TIG

Délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti

$$L_{KPVP} = 0,3 \cdot L_6 = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ m} \quad (8.10)$$

kde L_{KPVP} ...délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti [m]

Náklady na přídatný materiál koutových a přeplátovaných svarů

$$N_{PMKPTIG} = G_k \cdot L_{KPVP} \cdot C_{PMTIG} = 0,071 \cdot 7,5 \cdot 620 = 330,15 \text{ Kč} \quad (8.11)$$

kde $N_{PMKPTIG}$...náklady na přídatný mat. TIG - koutové a přeplát. svary [Kč]

Délka svarů natupo

$$L_{TVP} = 0,7 \cdot L_6 = 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ m} \quad (8.12)$$

kde L_{TVP} ...délka svarů natupo –vnější plášť [m]

Náklady na přídatný materiál svarů natupo

$$N_{PMTTIG} = G_T \cdot L_{TVP} \cdot C_{PMTIG} = 0,038 \cdot 17,5 \cdot 620 = 412,3 \text{ Kč} \quad (8.13)$$

kde N_{PMTTIG} ...náklady na přídat. mat. TIG svarů natupo – vnější plášť [Kč]

Náklady na ochranný plyn pro TIG – TIG

$$N_{OPTIG} = S_{OPTIG} \cdot L_6 \cdot C_{Ar} = 70 \cdot 25 \cdot 0,159 = 279 \text{ Kč} \quad (8.14)$$

kde N_{OPTIG} ...náklady na ochranný plyn TIG- vnější plášť [Kč]

Mzdové náklady varianty

Tarifní třídy:

$T_S=150$ Kč/hod (svářeč)

$T_P=120$ Kč/hod (pomocný pracovník)

$t_{TIG} = 28$ hodin

kde t_{TIG} ...čas svařování součásti – varianta TIG [hodin]

Další přímé náklady, které je zaměstnavatel za zaměstnance povinen hradit je pojistné v souhrnu 34 %.

$$MN_{TIG} = (t_{TIG} \cdot T_S + 0,25 \cdot t_{TIG} \cdot T_P) \cdot 1,34 \quad (8.15)$$

$$MN_{TIG} = (28 \cdot 150 + 0,25 \cdot 28 \cdot 120) \cdot 1,34 = 6\,753,6 \text{ Kč}$$

kde MN_{TIG}celkové mzdové náklady varianty [Kč]

8.3.2 Nepřímé náklady na kus TIG – TIG

Tab. 26 Vstupní hodnoty pro nepřímé náklady varianty

Jednicové mzdy	$J_M = 100 \%$
Výrobní režie	$V_R = 440 \%$
Správní režie	$S_R = 120 \%$

Správní režie

$$N_{SRTIG} = 120 \% \cdot MN_{TIG} = 120 \% \cdot 6\,753,6 = 8\,104,3 \text{ Kč} \quad (8.16)$$

kde N_{SRTIG}správní režie varianty [Kč]

Výrobní režie

$$N_{VRTIG} = 440 \% \cdot MN_{TIG} = 440 \% \cdot 6\,753,6 = 29\,715,8 \text{ Kč} \quad (8.17)$$

kde N_{VRTIG}výrobní režie varianty [Kč]

CELKOVÉ NÁKLADY VARIANTY

$$N_{CTIG} = N_{PMKP} + N_{PMT} + N_{OPS} + N_{PMKPTIG} + N_{PMTTIG} + N_{OPTIG} + MN_{TIG} + N_{SRTIG} + N_{VRTIG} \quad (8.18)$$

$$N_{CTIG} = 330,15 + 412,3 + 1199,5 + 330,15 + 413,3 + 279 + 6\,753,6 + 8\,104,6 + 29\,715,8 = 47\,537 \text{ Kč}$$

kde N_{CTIG}celkové náklady varianty [Kč]

8.4 Náklady na kus – TIG-MAG

8.4.1 Přímé náklady na kus TIG – MAG

Náklady na přídavný materiál pro TIG – MAG

Tab. 27 Vstupní hodnoty přímých nákladů TIG-MAG

Měrná hmotnost sváru koutového, přeplátovaného	$G_k := 0.071 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Měrná hmotnost sváru natupo	$G_T := 0.038 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Délka koutových svarů	10 % celkové délky svarů v operaci
Délka přeplátovaných svarů	20 % celkové délky svarů v operaci
Cena přídavného materiálu	$C_{PMMAG} = 625 \text{Kč/kg}$

Délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti

$$L_{KPVP} = 0,3 \cdot L_6 = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ m} \quad (8.19)$$

kde L_{KPVP} ...délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti [m]

Náklady na přídavný materiál koutových a přeplátovaných svarů

$$N_{PMKPMAG} = G_k \cdot L_{KPVP} \cdot C_{PMMAG} = 0,071 \cdot 7,5 \cdot 625 = 333 \text{ Kč} \quad (8.20)$$

kde $N_{PMKPMAG}$...náklady na přídavný mat. MAG - koutové a přeplát. svary [Kč]

Délka svarů natupo

$$L_{TVP} = 0,7 \cdot L_6 = 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ m} \quad (8.21)$$

kde L_{TVP} ...délka svarů natupo – vnější plášť [m]

Náklady na přídavný materiál svarů natupo

$$N_{PMTMAG} = G_T \cdot L_{TVP} \cdot C_{PMMAG} = 0,038 \cdot 17,5 \cdot 625 = 416 \text{ Kč} \quad (8.22)$$

kde N_{PMTMAG} ...náklady na příd. mat. MAG svarů natupo – vnější plášť [Kč]

Náklady na ochranný plyn pro TIG – MAG

Tab. 28 Vstupní hodnoty I přímých nákladů – TIG-MAG

Operace	Délka spoje při operaci
Krycí svar vnějšího pláště MAG	$L_6 = 25 \text{ m}$

Zadané hodnoty

Pozn.: vnější plášť se svařuje metodou MAG.

Tab. 29 Vstupní hodnoty II přímých nákladů – TIG-MAG

Veličina	Označení a hodnota	Ve výpočtových jednotkách
Rychlost svařování	$v_{SMAG} = 40 \text{ cm/min}$	$v_{SMAG} = 0,40 \text{ m/min}$
Průtok ochranného plynu	$V_{OPMAG} = 14 \text{ l/min}$	-
Ochranný plyn	Cronigon S1	-
Cena za láhev plynu	$C_{LCr} = 1753 \text{ Kč}$	-
Objem plynu v láhvi	$Q_{LCr} = 11700 \text{ l}$	-

Spotřeba plynu na metr

$$S_{OPMAG} = \frac{V_{OPMAG}}{v_{SMAG}} = \frac{14}{0,4} = 35 \text{ l/m} \quad (8.23)$$

kde S_{OPMAG} ...spotřeba ochranného plynu při MAG svařování [l/m]

Cena za litr Cronigonu S1

$$C_{Cr} = \frac{C_{LCr}}{Q_{LCr}} = \frac{1753}{11700} = 0,15 \text{ Kč/l} \quad (8.24)$$

kde C_{Cr} ...cena ochranného plynu Cronigon 2 [Kč/l]

Délky

$$L_6 = 25 \text{ m}$$

kde L_6 ...délka svarů na vnějším plášti [m]

Náklady na ochranný plyn varianty tedy jsou:

$$N_{OPMAG} = S_{OPMAG} \cdot L_6 \cdot C_{Cr} = 35 \cdot 25 \cdot 0,15 = 131 \text{ Kč} \quad (8.25)$$

kde N_{OPMAG} ...náklady na ochranný plyn při MAG svařování [Kč]

Mzdové náklady varianty

Tarifní třídy:

$T_S = 150 \text{ Kč/hod}$ (svářeč)

$T_P = 120 \text{ Kč/hod}$ (pomocný pracovník)

$t_{MAG} = 13 \text{ hodin}$

$t_{OPR} = 3 \text{ hodiny}$

kde t_{MAG} ...čas svařování součásti – varianta MAG [hodin]

t_{OPR} ...čas následného opracování svarů – varianta MAG [hodin]

Další přímé náklady, které je zaměstnavatel za zaměstnance povinen hradit je pojistné v souhrnu 34 %.

$$MN_{MAG} = (t_{MAG} \cdot T_S + 0,25 \cdot t_{TIG} \cdot T_P + t_{MAG} \cdot T_P) \cdot 1,34 \quad (8.26)$$

$$MN_{MAG} = (13 \cdot 150 + 0,25 \cdot 13 \cdot 120 + 3 \cdot 120) \cdot 1,34 = 3\,618 \text{ Kč}$$

kde MN_{MAG}celkové mzdové náklady varianty [Kč]

8.4.2 Nepřímé náklady na kus TIG – MAG

Tab. 30 Vstupní hodnoty pro nepřímé náklady varianty

Jednicové mzdy	$J_M = 100 \%$
Výrobní režie	$V_R = 440 \%$
Správní režie	$S_R = 120 \%$

Správní režie

$$N_{SRMAG} = 120 \% \cdot MN_{MAG} = 120 \% \cdot 3\,618 = 4\,341,6 \text{ Kč} \quad (8.11)$$

kde N_{SRMAG}správní režie varianty [Kč]

Výrobní režie

$$N_{VRMAG} = 440 \% \cdot MN_{MAG} = 440 \% \cdot 3\,618 = 15\,919,2 \text{ Kč} \quad (8.27)$$

kde N_{VRMAG}výrobní režie varianty [Kč]

CELKOVÉ NÁKLADY VARIANTY

$$N_{CMAG} = N_{PMKP} + N_{PMT} + N_{OPS} + N_{PMKPMAG} + N_{PMTMAG} + N_{OPMAG} + MN_{MAG} + N_{SRMAG} + N_{VRMAG} \quad (8.28)$$

$$N_{CMAG} = 330,15 + 412,3 + 1199,5 + 333 + 416 + 131 + 3618 + 4341,6 + 15919,2 = 26\,895,6 \text{ Kč}$$

kde N_{CMAG}celkové náklady varianty

8.5 Náklady na kus – TIG – CMT

8.5.1 Přímé náklady na kus TIG – CMT

Náklady na přídatný materiál pro TIG – CMT

Tab. 31 Vstupní hodnoty přímých nákladů TIG-CMT

Měrná hmotnost sváru koutového, přeplátovaného	$G_k := 0.071 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Měrná hmotnost sváru natupo	$G_T := 0.038 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
Délka koutových svarů	10 % celkové svarů v operaci
Délka přeplátovaných svarů	20 % celkové svarů v operaci
Cena přídatného materiálu	$C_{PM CMT} = 585 \text{Kč/kg}$

Délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti

$$L_{KPVP} = 0,3 \cdot L_6 = 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ m} \quad (8.29)$$

kde L_{KPVP} ...délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti [m]

Náklady na přídatný materiál koutových a přeplátovaných svarů

$$N_{PMKPCMT} = G_k \cdot L_{KPVP} \cdot C_{PM CMT} = 0,071 \cdot 7,5 \cdot 585 = 311,5 \text{ Kč} \quad (8.30)$$

kde $N_{PMKPCMT}$...náklady na přídat. mat. CMT - koutové a přeplát. svary [Kč]

Délka svarů natupo

$$L_{TVP} = 0,7 \cdot L_6 = 0,7 \cdot 25 = 17,5 \text{ m} \quad (8.31)$$

kde L_{TVP} ...délka svarů natupo –vnější plášť [m]

Náklady na přídatný materiál svarů natupo

$$N_{PMTCMT} = G_T \cdot L_{TVP} \cdot C_{PM CMT} = 0,038 \cdot 17,5 \cdot 585 = 389 \text{ Kč} \quad (8.32)$$

kde N_{PMTCMT} ...náklady na přídat. mat. CMT svarů natupo – vnější plášť [Kč]

Náklady na ochranný plyn pro TIG – CMT

Tab. 32 Vstupní hodnoty I přímých nákladů – CMT

Operace	Délka spoje při operaci
Krycí svar vnějšího pláště MAG	$L_6 = 25\text{m}$

Zadané hodnoty

Pozn.: vnější plášť se svařuje metodou CMT.

Tab. 33 Vstupní hodnoty II přímých nákladů – CMT

Veličina	Označení a hodnota	Ve výpočtových jednotkách
Rychlost svařování	$v_{sCMT} = 55\text{ cm/min}$	$v_{sCMT} = 0,55\text{ m/min}$
Průtok ochranného plynu	$V_{OPCMT} = 14\text{ l/min}$	
Ochranný plyn	Stargon 2	
Cena za láhev plynu	$C_{LSr} = 1545\text{ Kč}$	
Objem plynu v láhvi	$Q_{LSr} = 11700\text{ L}$	

Spotřeba plynu na metr

$$S_{OPCMT} = \frac{V_{OPCMT}}{v_{sCMT}} = \frac{14}{0,55} = 25,45\text{ l/m} \quad (8.33)$$

kde S_{OPCMT} ...spotřeba ochranného plynu při CMT svařování [l/m]

Cena za litr Stargonu 2

$$C_{Sr} = \frac{C_{LSr}}{Q_{LSr}} = \frac{1545}{11700} = 0,132\text{ Kč/l} \quad (8.34)$$

kde C_{Sr} ...cena ochranného plynu Stargon [Kč/l]

Délky

$$L_6 = 25\text{ m}$$

kde L_6 ...délka svarů na vnějším plášti [m]

Náklady na ochranný plyn varianty tedy jsou:

$$N_{OPCMT} = S_{OPCMT} \cdot L_6 \cdot C_{Sr} = 25,45 \cdot 25 \cdot 0,132 = 85\text{ Kč} \quad (8.35)$$

kde N_{OPCMT} ...náklady na ochranný plyn při CMT svařování [Kč]

Mzdové náklady varianty

Tarifní třídy:

$T_s = 150\text{ Kč/hod}$ (svářeč)

$T_p = 120\text{ Kč/hod}$ (pomocný pracovník)

$$t_{CMT} = 10\text{ hodin}$$

kde t_{CMT} ...čas svařování součásti – varianta CMT [hodin]

Další přímé náklady, které je zaměstnavatel za zaměstnance povinen hradit je pojistné v souhrnu 34 %.

$$MN_{CMT} = (t_{CMT} \cdot T_S + 0,25 \cdot t_{CMT} \cdot T_P) \cdot 1,34 \quad (8.36)$$

$$MN_{CMT} = (10 \cdot 150 + 0,25 \cdot 10 \cdot 120) \cdot 1,34 = 2\,412 \text{ Kč}$$

kde MN_{CMT}celkové mzdové náklady varianty [Kč]

8.5.2 Nepřímé náklady na kus TIG – CMT

Tab. 34 Vstupní hodnoty pro nepřímé náklady varianty

Jednicové mzdy	$J_M = 100 \%$
Výrobní režie	$V_R = 440 \%$
Správní režie	$S_R = 120 \%$

Správní režie

$$N_{SRCMT} = 120 \% \cdot MN_{CMT} = 120 \% \cdot 2\,412 = 2\,894,4 \text{ Kč} \quad (8.37)$$

kde N_{SRCMT}správní režie varianty [Kč]

Výrobní režie

$$N_{VRCMT} = 440 \% \cdot MN_{CMT} = 440 \% \cdot 2\,412 = 10\,612,8 \text{ Kč} \quad (8.38)$$

kde N_{VRCMT}výrobní režie varianty [Kč]

CELKOVÉ NÁKLADY VARIANTY

$$N_{CCMT} = N_{PMKP} + N_{PMT} + N_{OPS} + N_{PMKPCMT} + N_{PMTTCMT} + \\ + N_{OPCMT} + MN_{CMT} + N_{SRCMT} + N_{VRCMT} \quad (8.39)$$

$$N_{CCMT} = 330,15 + 412,3 + 1199,5 + 311,5 + 389 + \\ + 85 + 2\,412 + 2\,894,4 + 10\,612,8 = \mathbf{18\,841 \text{ Kč}}$$

kde N_{CCMT}celkové náklady varianty [Kč]

8.6 Návratnost investice do CMT

Tab. 35 Vstupní hodnoty pro návratnost investice do CMT

Požizovací cena CMT zařízení	$P_C = 250\,000$ Kč
Denní časový fond	$D_F = 8$ Hodin

Návratnost kusově

$$NVR = \frac{P_C}{N_{CMAG} - N_{CCMT}} = \frac{250000}{26895,6 - 18841} = 31,038 \text{ Ks} \quad (8.40)$$

kde NVR...návratnost investice do CMT [Ks]

Investice se tedy navrátí po 32 vyrobených kusech.

Návratnost časově

- za předpokladu výroby pouze dané součásti

$$NVR_T = \frac{NVR \cdot t_{CMT}}{D_F} = \frac{32 \cdot 10}{8} = 40 \text{ dnů} \quad (8.41)$$

kde NVR_T ...návratnost investice do CMT [den]

Investice se tedy navrátí za 40 pracovních dnů.

8.7 Shrnutí technicko-ekonomického hodnocení

V kapitole technicko-ekonomické hodnocení byly vypočítány náklady na svaření jedné součásti jednotlivými metodami uvedenými v zadání. Výpočty jsou orientační a je potřeba brát je s rezervou. Nejsou zde započítány ztráty způsobené ostřížením svařovacího drátu při přerušení svařování, ztráty při zamotání drátu v podavači nebo spotřeba ochranného plynu při dofuku po dokončení sváru. Tyto náklady jsou však velmi malé zejména ve srovnání s výrobní reží, která tvoří zdaleka největší položku celkových nákladů.

Celkové náklady na svaření jedné součásti metodou TIG-TIG jsou $N_{CTIG} = 47537$ Kč, kde výrobní režie činí $N_{VRTIG} = 29715,8$ Kč. Z toho faktu je jasné, že nejdůležitějším údajem pro výpočet nákladů na svaření součásti je nastavení výrobní režie (440 % dle standardu výrobce) a doba nutná pro svaření součásti, od které se odvíjí výpočet mzdových nákladů, respektive výsledné výrobní režie.

Celkové náklady na svaření jedné součásti metodou TIG-MAG jsou $N_{CMAG} = 26895,6$ Kč.

Celkové náklady na svaření jedné součásti metodou TIG-CMT jsou $N_{CCMT} = 18841$ Kč, což jasně vypovídá o skutečnosti, jaké produktivity je možné dosáhnout metodou CMT.

Požizovací cena zařízení CMT je cca $P_C = 250\,000$ Kč. Pokud budeme srovnávat TIG-CMT s druhou nejúpornější variantou, tedy TIG-MAG, investice do toho zařízení se navrátí po 32 vyrobených kusech, což činí asi 40 pracovních dnů. Očekávaná poptávka není známa. Výrobní program firmy VN-Ú s.r.o. však zahrnuje mnoho dalších výrobků vhodných pro aplikaci CMT svařování a tato investice je tudíž pro firmu velmi zajímavá.

ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na výběr metody svařování pro součást „palivový článek“ v podmínkách strojírenské firmy VN-Ú s.r.o. Cílem je srovnání technologií, které má tato společnost k dispozici tedy: MIG/MAG, TIG a CMT. Aplikace těchto metod byla navržena pro krycí svar, kdy kořen svaru byl vždy proveden metodou TIG.

Srovnání bylo prováděno na základě:

- zkoušek těsnosti,
- zkoušek mechanických vlastností,
- výskytu vad ve svarech,
- kontrola makroskopické a mikroskopické struktury,
- vnesené teplo a z toho plynoucí snížení korozivzdornosti ve srovnání se základním materiálem,
- náklady na svaření jedné součásti.

Zkoušky těsnosti ukázaly velmi malé rozdíly mezi jednotlivými metodami, které nejsou rozhodující pro volbu technologie.

U všech tří technologií bylo dosaženo mechanických vlastností přesahujících potřeby dané součásti. Tyto zkoušky byly provedeny u svarů natupo.

Pro kontrolu výskytu vnitřních vad byly zvoleny koutové svary. Zde pouze v jednom případě došlo k výskytu vady neprovaření kořene metodou TIG. Další vzorky byly zhotoveny bez vnitřních vad.

Makroskopická kontrola svarů neodhalila žádné vměstky, studené spoje nebo jiné vady a výsledky jsou tedy vyhovující.

Mikroskopická kontrola svarů ukázala strukturu složenou z podlouhlých dendritů a přijatelné zhrubnutí zrna v tepelně ovlivněné oblasti. Tato struktura je typická pro daný materiál a vyhovující pro požadované využití.

Metody TIG a CMT vykazují vnesené teplo $Q_{\text{TIG}} = 248 \text{ kJ/mm}$, respektive $Q_{\text{SCMT}} = 259 \text{ kJ/mm}$, což je výrazně méně než vnesené teplo u metody MAG, které bylo $Q_{\text{SMAG}} = 479 \text{ kJ/mm}$. Z hlediska zachování co největší odolnosti proti prostředí je tedy výhodnější volba metody TIG nebo CMT, mezi kterými je v tomto ohledu zanedbatelný rozdíl.

Dále bylo provedeno ekonomické zhodnocení, kde byly vypočteny náklady na svaření jedné součásti a návratnosti investice do CMT zařízení, které si výrobce dosud pouze pronajímal. Z výpočtů jasně vyplývá výrazná úspora při použití TIG-CMT oproti druhé nejvýhodnější technologii tedy TIG-MAG. Investice se navrátí již po 32 kusech. Výroba toho množství součásti potrvá 40 dní.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům a výrazné úspoře nákladu doporučuji volbu metody CMT. Tuto volbu podporuje také krátká doba návratnosti investice do CMT zařízení a zároveň možnost jeho využití i pro jiné výrobky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DONAHUE, Walker S a Jack C BRANDT. *Pyrolysis: types, processes, and industrial sources and products*. New York: Nova Science Publishers, c2009, xv, 548 p. ISBN 16-074-1669-7.
2. Pomalý Termický Rozklad: Technologie Pomalého Termického Rozkladu (PTR). *ROSETINOR GREEN ENERGY GROUP a.s.* [online]. 2014 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://rosetinor.cz/pomaly-termicky-rozklad/>
3. VN-Ú s.r.o.: *firemní web* [online]. 2014 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.vnu.cz/>
4. Technologie I.: Část svařování. In: *Technologie I.: Část svařování* [online]. Technická univerzita v Liberci: Katedra strojírenské technologie, 2010 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD8_prezetace.pdf
5. KOVAŘÍK, Rudolf. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-708-2697-5.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. Typy svarů: Ocelové konstrukce. In: *Typy svarů: Ocelové konstrukce* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010 [vid. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/3-2.pdf>
8. TIG svařování I - základní principy. *Svarbazar* [online]. 2009 [vid. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702%3E>
9. TIG svařování II - AC nebo DC?. *Svarbazar* [online]. 2009 [vid. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008122801%3E>
10. Technologie I.: Obloukové technologie v ochranných atmosférách (MIG/MAG, WIG). In: *Technologie I.* [online]. Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, 2010 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11_prezetace.pdf
11. MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl?. *Svarbazar* [online]. 2008 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501%3E>
12. KRIVOŠÍK, Ing. Miloslav, Ing. Gabriel LOŠÁK, RNDr. Štefan CIMBÁK PHD. a PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, A. S. Zváranie: Úvod do zvárania. *MatNet* [online]. 2006 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=559>
13. KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
14. KUBÍČEK, J. Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K. In: *Technologie svařování* [online]. FSI VUT v Brně, 2011 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k__kubicek.pdf

15. *Na hranici obloukového svařování: technologické a aplikační inovace s CMT Advanced* [online]. 25.11.2010 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/na-hranici-obloukoveho-svarovani-technologicke-a-aplikacni-inovace-s-cmt-advanced/>
16. COLD METAL TRANSFER. In: *Fronius* [online]. 2011 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xbc/SID-9516219D-88D1533F/fronius_uk/40_0006_2427_44540_snapshot.pdf
17. Svařovací hořáky. *Fronius* [online]. 2012 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-C71DDEAB-D403097B/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_1106.htm#.U2-AL_1_uyo
18. MOTLOCH, Jan. Nejrychlejší způsob svařování. *Nejrychlejší způsob svařování* [online]. 2013, č. 3 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nejrychlejsi-zpusob-svarovani.html>
19. NEREZOVÁ OCEL 1.4845. *Inoxspol* [online]. 2009 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=9>
20. Převodní tabulka norem nerezových materiálů. *Inoxspol* [online]. 2009 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/prevodni-tabulka-norem-nerezovych-materialu.html>
21. OK Autrod 310. In: *OK Autrod 310* [online]. 2010 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.okweld.cz/PDF/draty-mig-mag/vysokolegovane-nerezavejicic/OK_AUTROD_310.pdf
22. OK Tigrod 310. In: *OK Tigrod 310* [online]. 2010 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.okweld.cz/PDF/draty-wig-tig/vysokolegovane-nerezavejici/OK_TIGROD_310.pdf
23. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5-.
24. *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.
25. SVAŘOVÁNÍ VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ. In: *SVAŘOVÁNÍ VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ* [online]. 2007 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf
26. Svařitelnost konstrukčních materiálů. In: KOLAŘÍK, Ing. Ladislav. *Svařitelnost konstrukčních materiálů* [online]. ČVUT v Praze, 2010 [vid. 2014-05-11]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf
27. HRIVŇÁK, I. *Zvaritelnost ocelí*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1976. 240 s. ISBN 63-212-79.
28. Pyrolýza. In: *Pyrolýza* [online]. VŠB Technická univerzita Ostrava, 2010 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Pyrolyza.pdf

29. NOVÁK, Pavel. Druhy koroze kovů. In: *Druhy koroze kovů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2006 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/1_2.pdf
30. Poškození vodíkem. *Poškození vodíkem* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2006 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_vodik.htm#obr2
31. Prostředím vyvolané praskání. *Prostředím vyvolané praskání* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2006 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_prask.htm
32. OSTRÁ, Vladislava. Atlas korozního napadení a povrchových úprav. In: *Atlas korozního napadení a povrchových úprav* [online]. ČVUT V PRAZE fakulta Strojní, 2011 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/_aktuality/Atlas_korozniho_napadeni.pdf
33. Průsakové zkoušky. *Technotest* [online]. 2002 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/prusakove_zkousky
34. SICHERHEITSDATENBLATT gemäß. In: *SICHERHEITSDATENBLATT gemäß* [online]. 2007 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://baseportal.de/files/schlierfmi/Sicherheitsdatenblaetter/TECHNOTRENN_REINKE-ROT-Aerosol_sdb.pdf
35. Metoda kontroly těsnosti. *Controltest* [online]. 2009 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.controltest.cz/metody-ndt/kontroly-tesnosti.php>
36. KOLAŘÍK. Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů. In: *Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů* [online]. Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT Praha, 2008 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/zkousky_svaru_ndt.pdf
37. Přímé náklady. *ManagementMania* [online]. 2011 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/prime-naklady>
38. Nepřímé náklady. *ManagementMania* [online]. 2011 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/neprime-naklady>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
C_{Ar}	[Kč/l]	cena ochranného plynu Argon
C_{Cr}	[Kč/l]	cena ochranného plynu Cronigon S1
C_{Sr}	[Kč/l]	cena ochranného plynu Stargonu 2
C_{LAr}	[Kč]	cena za láhev plynu Argon 4.6
C_{LCr}	[Kč]	cena za láhev plynu Cronigonu S1
C_{LSr}	[Kč]	cena za láhev plynu Stargonu 2
C_{PMAG}	[Kč/kg]	cena přídavného materiálu MAG
C_{PMCMT}	[Kč/kg]	cena přídavného materiálu CMT
C_{PMTIG}	[Kč/kg]	cena přídavného materiálu
G_k	[kg/m]	měrná hmotnost sváru koutového, přeplátovaného
G_T	[kg/m]	měrná hmotnost sváru natupo
I_{CMT}	[A]	proud při CMT svařování
I_{MAG}	[A]	proud při MAG svařování
I_{TIG1}	[A]	hlavní proud při TIG svařování
I_{TIG2}	[A]	závislý proud při TIG svařování
J_M	[Kč]	jednicové mzdy
L_1	[m]	délka pro Bodové svařování vnitřního uspořádání metodou TIG
L_2	[m]	délka pro provaření kořene vnitřního uspořádání TIG
L_3	[m]	délka krycího sváru vnitřního uspořádání TIG
L_4	[m]	délka pro bodové svařování vnějšího pláště TIG
L_5	[m]	délka pro provaření kořene vnějšího pláště TIG
L_6	[m]	délka pro Krycí svar vnějšího pláště TIG
L_{Bod}	[m]	délka spojů zafixovaných bodovými sváry
L_{KP}	[m]	délka koutových a přeplátovaných svarů společná
L_{KPVP}	[m]	délka koutových a přeplátovaných svarů na vnějším plášti
L_{OPS}	[m]	délka svarů společná pro všechny varianty
L_T	[m]	délka svarů natupo společná
L_{TVP}	[m]	délka svarů natupo – vnější plášť
MN_{CMT}	[Kč]	celkové mzdové náklady varianty
MN_{MAG}	[Kč]	celkové mzdové náklady varianty
MN_{TIG}	[Kč]	celkové mzdové náklady varianty
N_{CCMT}	[Kč]	celkové náklady varianty
N_{CMAG}	[Kč]	celkové náklady varianty
N_{CTIG}	[Kč]	celkové náklady varianty

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
N_{OPCMT}	[Kč]	náklady na ochranný plyn při CMT svařování
N_{OPMAG}	[Kč]	náklady na ochranný plyn při MAG svařování
N_{OPS}	[Kč]	náklady na ochranný plyn společné pro všechny varianty
N_{OPTIG}	[Kč]	náklady na ochranný plyn TIG- vnější plášť
N_{PMKP}	[Kč]	náklady na přídavný mat. - koutové a přeplát. svary společné
$N_{PMKPCMT}$	[Kč]	náklady na příd. mat. CMT - koutové a přeplát. svary
$N_{PMKPMAG}$	[Kč]	náklady na přídavný mat. MAG - koutové a přeplát. svary
$N_{PMKPTIG}$	[Kč]	náklady na přídavný mat. TIG - koutové a přeplát. svary
N_{PMT}	[Kč]	náklady na přídavný materiál - sváry natupo společné
N_{PMTCMT}	[Kč]	náklady na příd. mat. CMT svárů natupo – vnější plášť
N_{PMTMAG}	[Kč]	náklady na příd. mat. MAG svárů natupo – vnější plášť
N_{PMTTIG}	[Kč]	náklady na příd. mat. TIG svárů natupo – vnější plášť
N_{SRCMT}	[Kč]	správní režie varianty
N_{SRMAG}	[Kč]	správní režie varianty
N_{SRTIG}	[Kč]	správní režie varianty
NVR	[ks]	návratnost investice do CMT
N_{VRCMT}	[Kč]	výrobní režie varianty
N_{VRMAG}	[Kč]	výrobní režie varianty
NVR_T	[den]	návratnost investice do CMT
N_{VRTIG}	[Kč]	výrobní režie varianty
Q_{LAr}	[l]	Objem plynu v láhvi Argon 4.6
Q_{LCr}	[l]	Objem plynu v láhvi Cronigonu S1
Q_{LSr}	[l]	Objem plynu v láhvi Stargonu 2
Q_{SCMT}	[kJ/mm]	vnesené teplo při CMT svařování
Q_{SMAG}	[kJ/mm]	vnesené teplo při MAG svařování
Q_{STIG}	[kJ/mm]	vnesené teplo při TIG svařování
S_{OPMAG}	[L/m]	spotřeba ochranného plynu při MAG svařování
S_{OPTIG}	[L/m]	spotřeba ochranného plynu při TIG svařování
S_R	[%]	správní režie
t_{CMT}	[hod.]	čas svařování součásti – varianta CMT
t_{MAG}	[hod.]	čas svařování součásti – varianta MAG
t_{OPR}	[hod.]	čas následného opracování svárů – varianta MAG
T_P	[Kč/hod]	tarifní třída- pomocný pracovník
T_S	[Kč/hod]	tarifní třída-svářeč
t_{TIG}	[hod.]	čas svařování součásti – varianta TIG
U_{CMT}	[V]	napětí při CMT svařování
U_{MAG}	[V]	napětí při MAG svařování

<i>Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>popis</i>
U_{TIG}	[V]	napětí při TIG svařování
V_{OPCMT}	[l/min]	průtok ochranného plynu CMT
V_{OPMAG}	[l/min]	průtok ochranného plynu MAG
V_{OPTIG}	[l/min]	průtok ochranného plynu TIG
V_R	[%]	výrobní režie
V_{SCMT}	[cm/min], [m/min]	rychlost svařování CMT
V_{SMAG}	[cm/min], [m/min]	rychlost svařování MAG
V_{STIG}	[cm/min], [m/min]	rychlost svařování TIG
μ_{CMT}	[-]	účinnost přenosu tepla při CMT svařování
μ_{MAT}	[-]	účinnost přenosu tepla při MAT svařování
μ_{TIG}	[-]	účinnost přenosu tepla při TIG svařování

SEZNAM PŘÍLOH


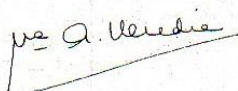
Příloha č. 1 – Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204 – základní materiál

Příloha č. 2 – Certifikát analýzy EXP-1310239 8 dle EN 10204 3.1 – přidavný materiál

Příloha č. 3 – Trhací stroj ZD 40

Příloha č. 4 – Grafy příčné zkoušky tahem

PŘÍLOHA 1

ACERINOX EUROPA <small>FABRICA DEL CAMPO DE GIBALTAR PALMONES (LOS BARRIOS) TEND. 131 - 956 62 93 00 FAX. 131 - 956 62 93 11 P.O. BOX 83 11370 LOS BARRIOS (CADIZ)</small>				<h2>INSPECTION CERTIFICATE</h2> <h3>ABNAHMEPRÜFZEUGNIS</h3>			3.1										
ACCORDING TO EN 10204				CERTIFICATE N° F0 2012 811245 10002 *		ZERHÖHIS NR.											
CUSTOMER <small>KUNDE:</small> AK 1324 S.R.O. BUTOVICKÁ 317 STUDENKA REP. CHECA			OUR ORDER N° <small>UNSERE AUFTR.</small> AE 89987		YOUR ORDER N° <small>IHRER BESTELL.</small> 2012-V009												
REQUIREMENTS <small>ANFORDERUNGEN</small> EN 10095-1999 ASTM A240/A490Ed11-ASME SecIIA SA240/SA490Ed10Addenda2011			INTERGRANULAR CORROSION <small>INTERKRISTALLINE KORROSION</small>		GRADE <small>WERKSTOFF</small> Acx 350 1.4845 Acx 350 AISI 310S Acx 350 TP-310S		FINISH <small>AUSFÜHRUNG</small> 2B 2B 2B										
COIL / BOX <small>WICKEL / KISTE</small> A4690T		CONTENT <small>INHALT</small> 06A2NJ BC	DIMENSIONS <small>ABMESSUNGEN</small> <table border="1"> <thead> <tr> <th>THICKNESS</th> <th>WIDTH</th> <th>LENGTH</th> </tr> <tr> <th>DICKE</th> <th>BREITE</th> <th>LÄNGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,500</td> <td>1000,00</td> <td>2000,00</td> </tr> </tbody> </table>			THICKNESS	WIDTH	LENGTH	DICKE	BREITE	LÄNGE	1,500	1000,00	2000,00	MARKS <small>POS.</small> 5	QUANTITY <small>STÜCKZAHL</small> 57	TEST N° <small>PROBE NR.</small> 06A2NJ B
THICKNESS	WIDTH	LENGTH															
DICKE	BREITE	LÄNGE															
1,500	1000,00	2000,00															
CHEMICAL ANALYSIS / CHEMISCH ZUSAMMENSETZUNG																	
HEAT N° <small>SCHMELZE NR.</small> A2NJ		C	CR	MN	N	NI	P	S	SI								
		0,045	24,707	1,400	0,024	19,276	0,025	0,001	0,577								
MECHANICAL PROPERTIES / MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN																	
TEST N° <small>PROBE NR.</small> 06A2NJ B		PROBE <small>STÜCK</small> C T	Rm <small>N/mm2</small> 540,05	Rp 0.2 <small>N/mm2</small> 297,81	Rp 1.0 <small>N/mm2</small> 324,49	A50 <small>%</small> 47,81	A80 <small>%</small> 50,81	HV10 149,00									
REMARKS / BEOBACHTUNGEN The delivery is in accordance with the order Temperatura de hipertermpo entre 1050 y 1100 ° C.				SURFACE AND DIMENSIONAL CONTROL <small>OBERFLÄCHEN- UND ABMESSUNGSKONTROLLE</small> <p style="text-align: center;">SATISFACTORY OHNE BEANSTANDUNG</p>													
				WORK INSPECTOR <small>WERKSACHVERSTÄNDIGER</small>  A. Heredia													
Palmones, 27 SEPTIEMBRE 2012																	

Uvedený certifikát 3.1 pro základní materiál byl doložen firmou VN-Ú s.r.o.

PŘÍLOHA 2



Sopras spol. s r.o.

Čeremý Újezd 267, 27351 Umboř, Czech Republic
 Tel. +420 312 699 880, Fax: +420 312 699 881
 GSM: +420 603 811 489, +420 605 228 954, +420 605 228 953
 http: www.sopras.cz
 e-mail: sklad@sopras.cz

CERTIFIKÁT ANALÝZY EXP-1310239 8

datum: 15.2.2012

Klient:		Číslo objednávky:										Číslo dodání:						
Název: 310		Tavba: 13301004/E41024										Průměr: 1,0 mm						
												AWS A5.9 ER 310						
C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	N	Co	Al	Ti	Nb	B	W	V	Sn	As
0,088	1,60	0,39	0,021	0,001	0,13	20,65	26,69	0,07	0,020									
Poznámka																		
Certifikát analýzy je vystaven podle originálu dokumentu kontroly dle normy EN 10204 3.1																		

Uvedený certifikát 3.1 pro přídatný materiál byl doložen firmou VN-Ú s.r.o.

PŘÍLOHA 3

Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci univerzálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

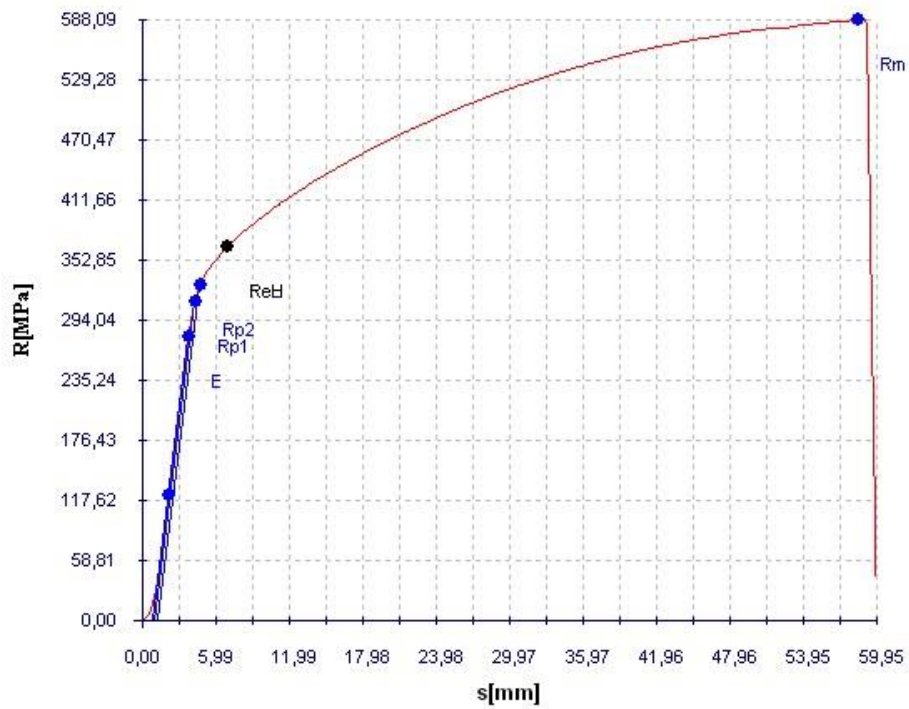
Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



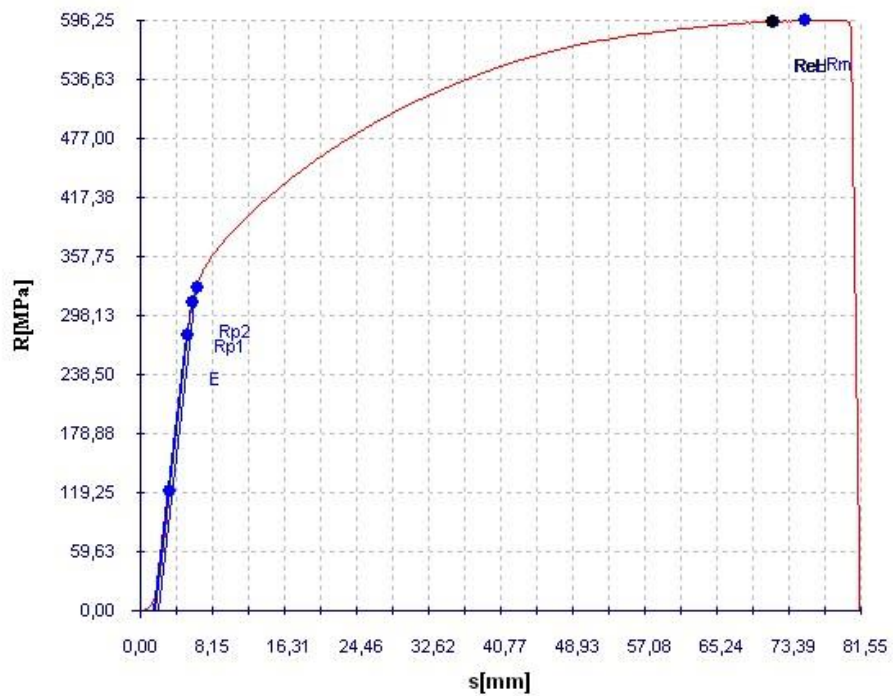
Řídicí jednotka EDC 60

Uvedená specifikace zkušebního stroje byla dodána VUT v Brně.

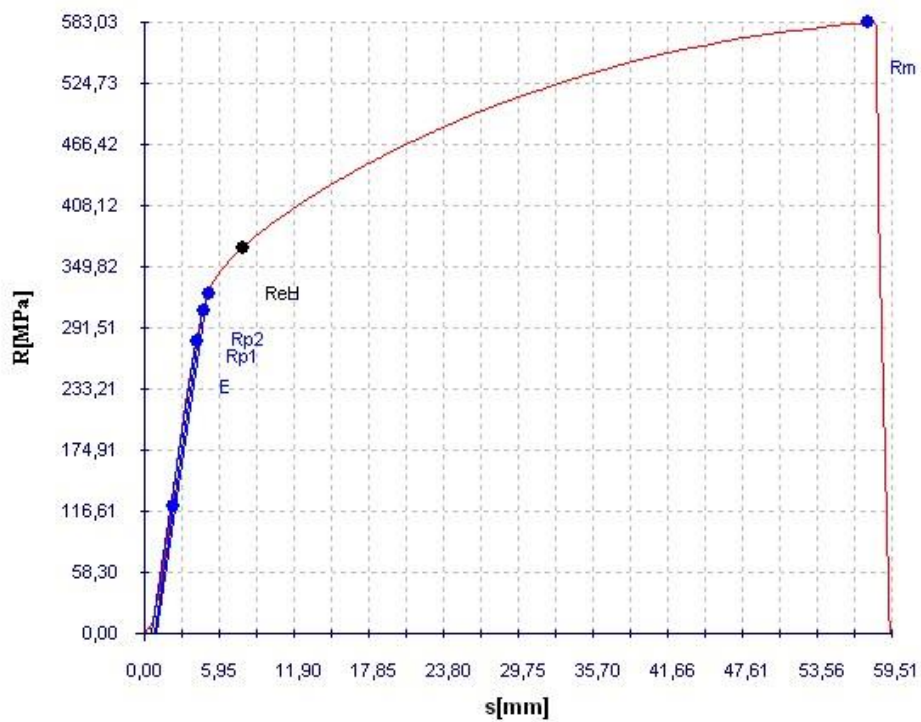
PŘÍLOHA 4



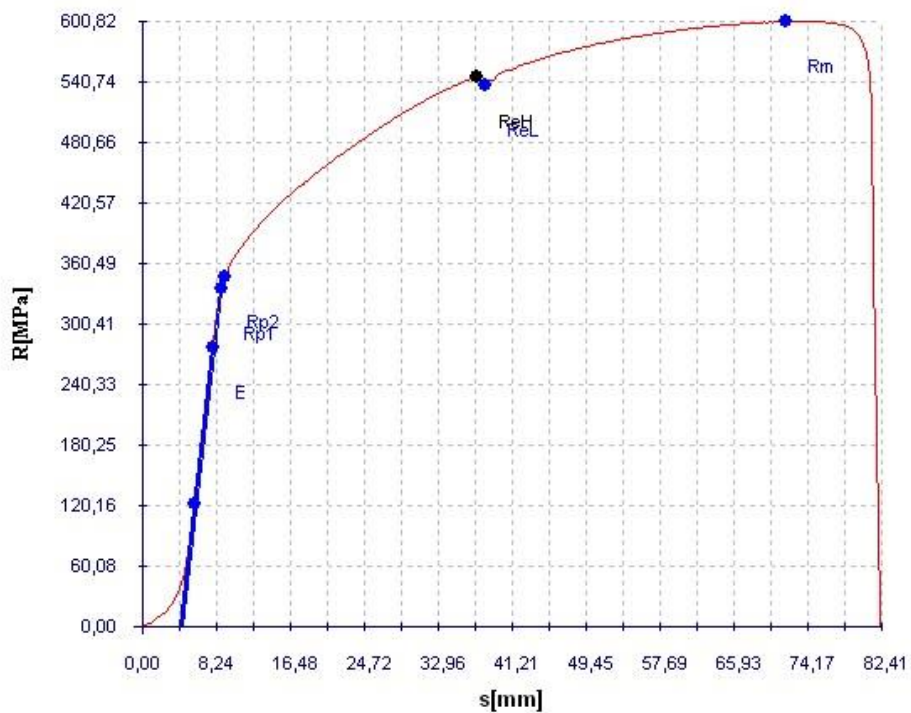
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-TIG č. 1



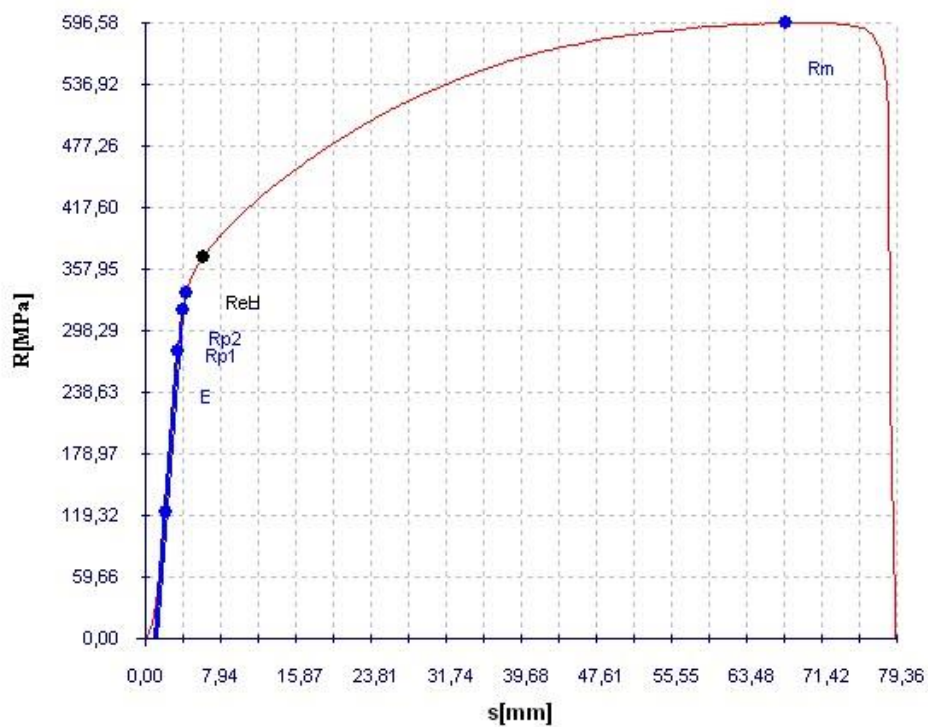
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-TIG č. 2



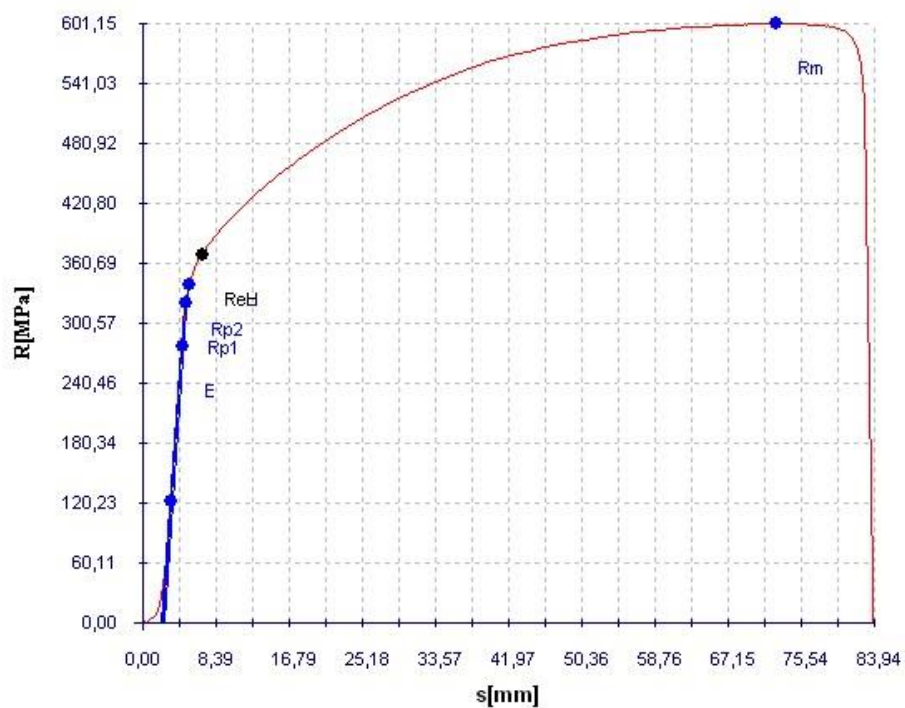
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-TIG č. 3



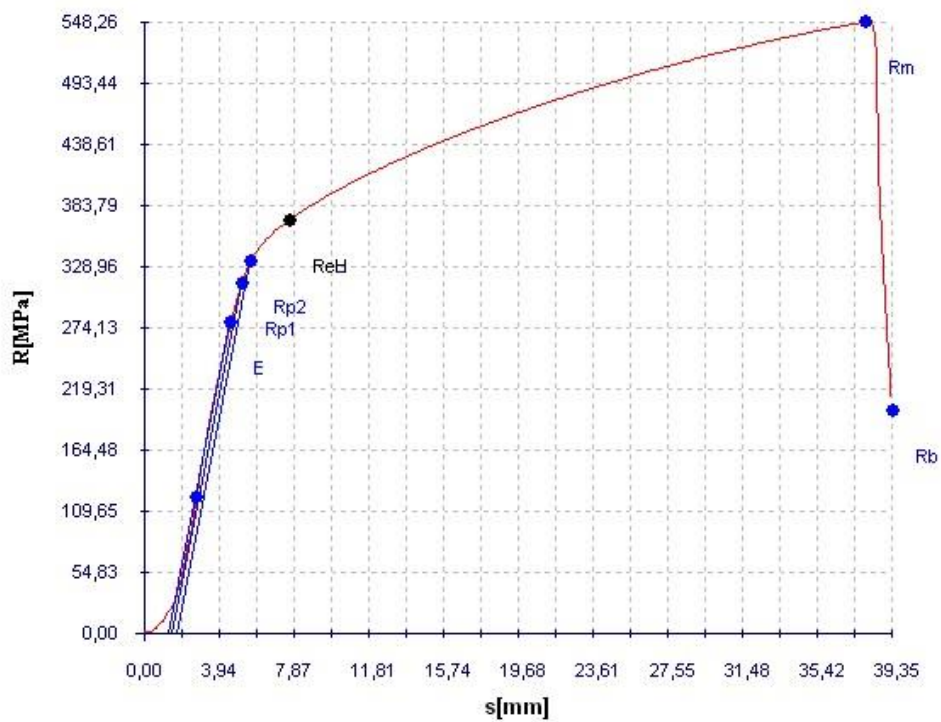
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-MAG č. 1



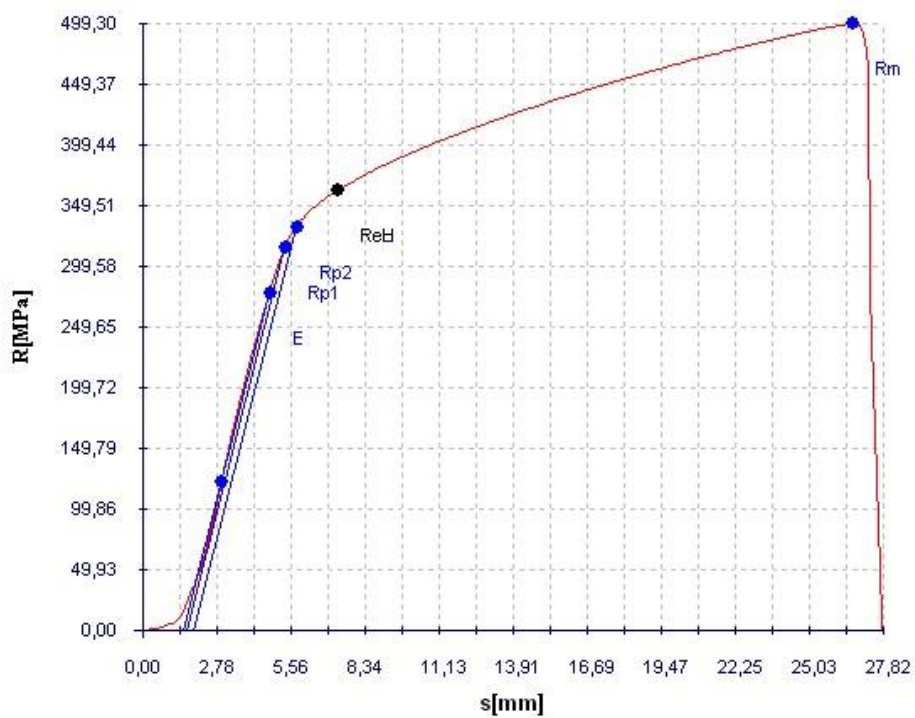
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-MAG č. 2



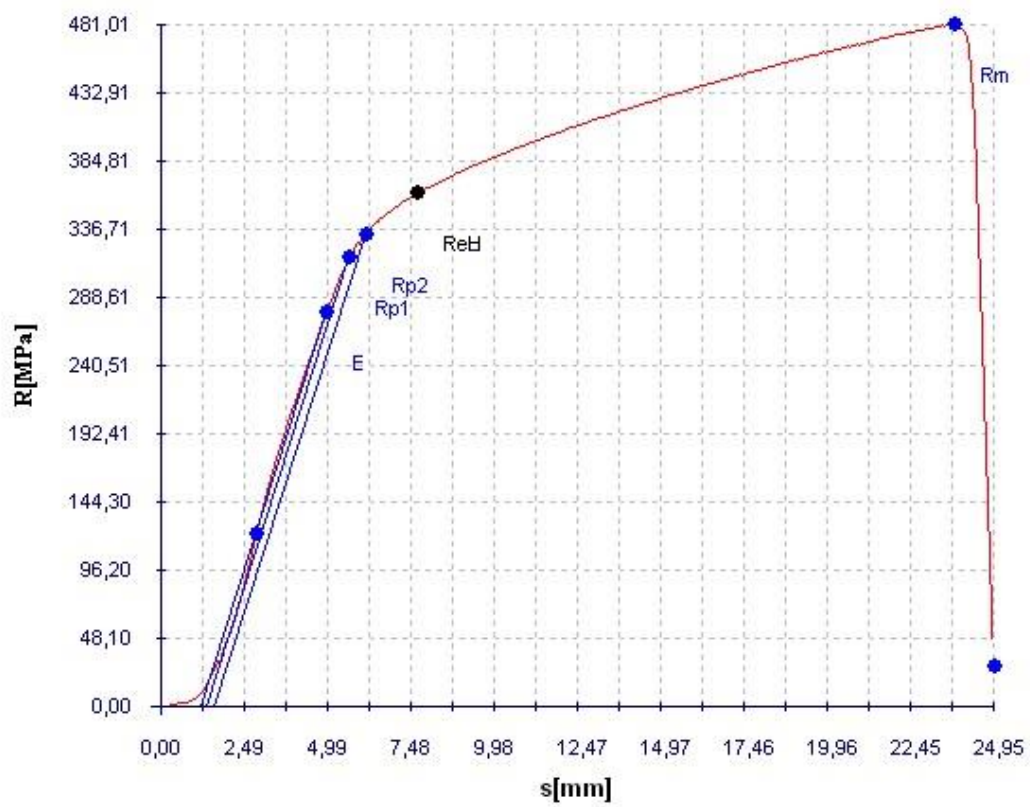
Příčná zkouška tahem vzorek TIG-MAG č. 3



Příčná zkouška tahem vzorek TIG-CMT č. 1



Příčná zkouška tahem vzorek TIG-CMT č. 2



Příčná zkouška tahem vzorek TIG-CMT č. 3