

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAROVÁNÍ PALIVOVÝCH FILTRU

WELDING OF FUEL FILTERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ŠTĚPÁN PRŮŽA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2007

ABSTRAKT

PRŮŽA Štěpán: Svařování palivových filtrů.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru M2307 - 02 Strojírenská technologie předkládá návrh řešení snížení zmetkovitosti ve výrobě - mechanizované svařování palivových filtrů vyrobených z hliníku EN AW – Al 99,5 metodou WIG/TIG. Literární studie je zaměřena na problematiku obloukového svařování. Provedením experimentů: přesazením víčka vůči tělu filtru, deformací víčka, průtokem plynu, nastavením parametrů svařování, vlivem čistoty svařovaných ploch a navržením mechanizace se provedlo ověření možných vlivů ovlivňujících kvalitu svarového spoje. Vyhodnocení experimentů – doporučení k odstranění a předcházení příčin vadných svarů.

Klíčová slova: svařování, hliník EN AW – AL 99,5, metoda WIG/TIG, vady svarů, experiment, vyhodnocení.

ABSTRACT

PRŮŽA Štěpán: Welding of fuel filters.

This project, worked out in within engineering studies, branch M2307 – 02 Manufacturing technology, submits suggestions for decreasing of scrap during production – mechanized welding of fuel filters made out of aluminum EN AW – Al 99,5 using WIG/TIG methods. The theory is focused on arc welding issue. Verification of possible influences on the weld joints was tested during following experiments: top cover misalignment against the body of the filter, top cover deformation, gas flow, welding parameters setup, welding area purity, mechanization propositions. Evaluations of experiments – recommendation for elimination and prevention of bad quality weld joints.

Key words: Welding, aluminum EN AW – AL 99,5, WIG/TIG method, weld's joints defects, experiment, evaluation.

Bibliografická citace mé práce:

PRŮŽA, Š. *Svařování palivových filtrů* . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10.5.2008

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce Ing. J. Kubíčkovi a pracovníkům firmy Mann + Hummel (ČR) s.r.o., jmenovitě p. Ing. K. Dudrovi, p. Ing. M. Hrubanovi a p. M. Vrtalovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH:

1. ÚVOD	9
2. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	10
2.1. Úvod do teorie svařování	10
2.2. Rozdělení metod svařování podle norem	10
2.2.1. Metody tavného svařování(0)	10
2.2.2. Metody tlakového svařování(4)	11
2.3. Teorie vzniku svarového spoje	12
2.4. Tepelné procesy ve svařování	13
2.4.1. Teplotní pole	13
2.4.2. Teplotní cyklus	14
2.4.3. Tepelná napětí a deformace	14
2.5. Svařování elektrickým obloukem	16
2.6. Zapálení oblouku, způsoby zapálení	16
2.7. Části elektrického oblouku	17
2.8. Voltampérová charakteristika elektrického oblouku	19
2.9. Tepelné účinky oblouku	20
2.10. Mechanické účinky oblouku	21
2.11. Silové působení na přenos kovu v oblouku	21
3. SVAŘOVACÍ ZDROJE PRO OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ	23
3.1. Rozdělení svařovacích zdrojů	23
3.2. Statická charakteristika zdroje svařovacího proudu	24
4. SVAŘOVÁNÍ METODOU WIG (TIG)	25
4.1. Svařování stejnosměrným proudem	25
4.2. Svařování střídavým proudem	27
4.3. Svařování impulsním proudem	28
4.4. Hořáky pro svařování metodou WIG (TIG)	29
4.4.1. Elektrody pro svařování metodou WIG/TIG	31
4.4.2. Broušení funkčního konce wolframové elektrody	32

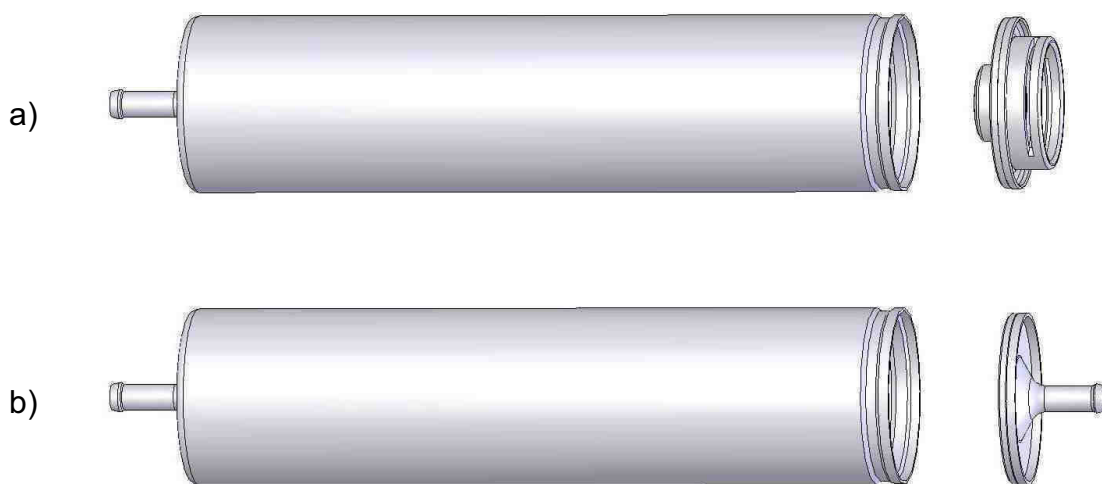
4.4.3. Ochranné plyny.....	34
4.5. Oblasti použití metody WIG (TIG).....	36
4.5.1. Svařování chromniklových ocelí.....	36
4.5.2. Svařování hliníku a jehoslitin.....	36
4.5.3. Základní polohy při svařování a příprava svarových ploch pro WIG	37
4.5.4. Strojní svařování metodou WIG	38
5. STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	39
6. NÁVRH MECHANIZACE A EXPERIMENTŮ	41
6.1. Návrh a řešení mechanizace.....	41
6.2. Návrh experimentů	42
6.3. Svařovací zdroj a popis funkcí	42
7. VYHOTOVENÍ EXPERIMENTŮ	44
7.1. Přesazení víčka vůči tělu filtru.....	44
7.2. Deformace víčka filtru	52
7.3. Nastavení svařovacích parametrů a jejich vlivy na kvalitu svaru.....	54
7.3.1. Nastavení průtoku plynu	54
7.3.2. Nastavení balančního regulátoru	58
7.4. Povrchové vlastnosti (oxidace, skladování, prací lázně, oplach).....	60
7.4.1. Vliv mastnoty na vlastnosti svaru	60
7.4.2. Oxidická vrstva a její vliv na kvalitu svaru.	63
7.5. Návrh technologického postupu	69
8. ZÁVĚR	71

1. Úvod

Svařování má uplatnění v mnoha oborech průmyslu a tvoří v mnohých případech nezastupitelnou technologii v oblasti nerozebíratelného spojování různých materiálů. Technologie svařování je použita pro danou problematiku v této diplomové práci. Pro svařování hliníkových dílců je nejvýhodnější metoda WIG/TIG (Wolfram Inert Gas / Tungsten Inert Gas). Tato metoda je vhodná pro své dobré možnosti optimálního nastavení parametrů svařování a zejména se výhodně využívá její fyzikální schopnost čistícího účinku pro odstraňování oxidické vrstvy, která se přirozeně vytváří na povrchu hliníku a jeho slitin.

Tato diplomová práce se zabývá mechanizovaným svařováním palivových filtrů (obr. 1.1) metodou WIG (TIG 141) určených pro automobilový průmysl. Filtř se skládá z těla, víčka a papírové filtrační vložky, která se před svařováním vkládá do těla filtru a fixuje se v přední části filtru technologií lepením. Svařovanými částmi jsou víčka a těla filtrů. Víčko se zalisovává před svařením do těla filtru. Jednotlivé části jsou vyrobeny z hliníku o čistotě 99,5% s označením dle ČSN EN 42 40004 a podle ČSN EN 573 – 1,2 (EN AW – 1050A).

Téma diplomové práce zadala firma Mann+Hummel (ČR), která řeší problém vysoké zmetkovitosti u svarových spojení mezi víčkem a tělem filtru. Tato diplomová práce se zaměřila na vhodně zvolené experimenty, simulující možné situace, které mohou nastat v průběhu svařovacího procesu. Tyto simulace a závěry z navržených a provedených experimentů by měly přispět k eliminaci vad ve svaru, které povedou ke snižování vadných dílců a zvyšování produktivity svařování.



Obr. 1.1 Typy svařovaných filtrů,
a) WK 519
b) WK 521

2. Technologie svařování

2.1. Úvod do teorie svařování

Svařování je v mnoha odvětvích průmyslu nezastupitelnou technologií, kterou nelze v mnohých případech nahradit jinou metodou nerozebíratelného spojování. Uplatňuje se ve strojírenství, elektrotechnice, stavebních konstrukcích a v mnoha dalších oborech.

Svařování je definováno jako nerozebíratelné spojení dvou kovových dílců za pomoci tepla a teploty tavení daného materiálu nebo tlakové deformace dílců. Svařování může probíhat s přídavným nebo bez přídavného materiálu .

2.2. Rozdělení metod svařování podle norem [8], [9]

Rozdělení metod svařování popisuje norma ČSN EN 34063 je ekvivalentní s ČSN ISO 857. Každá metoda svařování je označena číslem, které má maximálně 3 znaky, první číslo označuje základní skupinu svařovacích metod, zbylé číslice jsou doplňkové [8].

2.2.1. Metody tavného svařování (0) :

- 1 – Obloukové svařování (Arc Welding),
 - podskupiny: 111 – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou
 - 112 – gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou
 - 114 – obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu
 - 12 – pod tavidlem
 - 13 – obloukové svařování v ochranné atmosféře
 - 131 – obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu – MIG
 - 135 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu – MAG
 - 136 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu
 - 137 – obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu
 - 141 – obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu WIG

Ostatní metody tavného svařování :

72 – elektrostruskové svařování; 15 - svařování plazmové; 151 – svařování plazmové MIG svařování; 158 – svařování magneticky ovládaným obloukem;

svařování proudem elektronů; 3 – plamenové svařování; 311 – kyslíko-acetylenové svařování; 313 – kyslíko-vodíkové svařování; svařování slévárenské; 75 – svařování světelným zářením; 751 – svařování laserem; 71 – aluminotermické svařování; 73 – elektroplynové svařování; indukční svařování.

Samostatná skupina svařování : 9 - pájení

2.2.2. Metody tlakového svařování (4)

- 2 – Odporové svařování (Resistance Welding)
příklad podskupiny: 21 – bodové odporové svařování
- 4 – Tlakové svařování (Welding with Pressure)
příklad podskupiny: 42 - Třecí svařování

Další skupiny svařování:

- 5 – Svařování svazkem paprsků (Beam Welding)
- 6 – Ostatní způsoby svařování (Other Welding Processes)

Výše zmíněná čísla se uvádí do WPS (Welding Procedure Specification) - technologické postupy, označování zkoušek svářečů apod. Navržený technologický postup svařování zanesený do formuláře WPS je třeba ještě schválit. Tento formulář se nazývá předběžná WPS (pWPS) [8].

Schválení (kvalifikace) se provádí několika způsoby:

- použitím certifikovaného svářecího materiálu
- předchozí zkušeností výrobce
- odkazem na normalizovaný postup svařování
- předvýrobní zkouškou svařování
- zkouškou postupu svařování

Kvalifikace postupu svařování navrženého v pWPS se provede tzv. záznam WPQR. Má formu protokolu obsahujícího všechny nezbytné údaje potřebné pro kvalifikování pWPS. Například při ověřování svařeného vzorku ve zkušebně jsou do WPQR zapisovány hodnoty mechanických zkoušek svarového spoje (jen úspěšné zkoušky). Zanesením čísla příslušného WPQR do původní pWPS se stává kvalifikovaná (schválená) WPS.

WPS musí být vždy vypracovaná na formuláři, který je v souladu s normou EN 288-3, resp. EN ISO 156 09-1 pro obloukové svařování [8].

2.3. Teorie vzniku svarového spoje [1], [6]

Svařování kovů a jejich slitin je nerozebíratelným spojením s využitím tepelné, radiační nebo tlakové energie. Působením meziatomových sil a adhezních vazeb na plochách aktivovaných teplem nebo tlakem nastává spojení materiálů. Pevné látky mají různé meziatomové vazby, které odpovídají různým typům rozložení elektronů a iontů. Uspořádání iontů v atomu je takové, aby potenciální energie byla co nejmenší. Základ vazby tvoří mrak valenčních elektronů, které mohou volně přecházet mezi atomy [1].

Kovová vazba vzniká v případě, kdy je počet valenčních elektronů tak malý, že se mohou zaplnit všechny orbitály. Vazbu vytváří elektrostatické síly mezi kationem a elektronovým plynem, který vyplňuje prostor krystalické mřížky kovového krystalu. Vlastnosti typické pro kovovou vazbu jsou dány chováním volných elektronů [6]. Proces svařování potřebuje aktivaci kontaktních ploch dodáním aktivační energie pro překonání potenciální bariéry [1].

Formy aktivačních energií při svařování jsou :

- termická aktivace
- mechanická aktivace (pružná a plastická deformace)
- radiační aktivace (iontové, elektronové nebo fotonové ozáření)

Běžné metody svařování lze rozdělit na dvě skupiny :

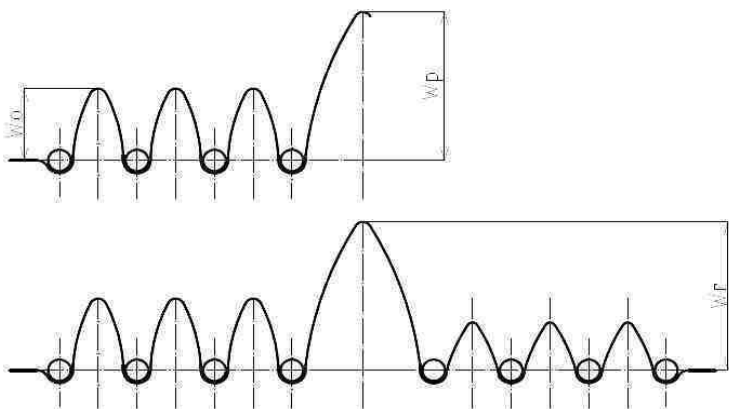
a) Tavné

Vytvořením spoje vzniklého prostřednictvím přívodu tepelné energie do oblasti svaru, kde dochází k natavení základního materiálu případně materiálu přídavného. Tuhnutím taveniny se adhezní síly mění na chemickou vazbu ve formě krystalické mřížky. Rostou nová zrna a původní rozhraní zaniká.

b) Tlakové

Spoj se vytváří pomocí mechanické energie, která aktivuje povrchové atomy a pomocí mikro nebo makrodeformací se přibližují spojované povrchy na vzdálenost meziatomových sil, přičemž vzniká tlakový spoj.

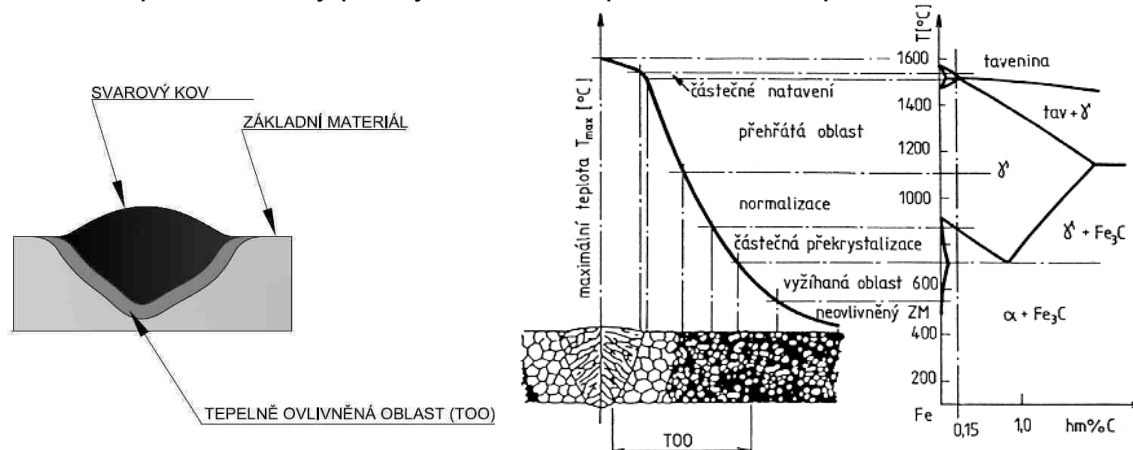
Jak tavné tak i tlakové metody svařování musí překonat energetickou hladinu potenciální energie na rozhraní spojovaných ploch viz. obr. 2.1[1].



Obr. 2.1 Energetické bariéry potenciální energie [1]

Kde: W_o – potenciální energie nutná pro změnu polohy iontu uvnitř krystalu
 W_p – vliv povrchu krystalu na velikost potenciální energie, nutná pro změnu polohy iontu.
 W_r – potenciální energie na rozhraní fází

U tavných metod svařování je kolem roztavené části (svarový kov) pásmo, kde dosáhla teplota hodnoty překryštalizačních pochodů tzv. tepelně ovlivněná oblast.

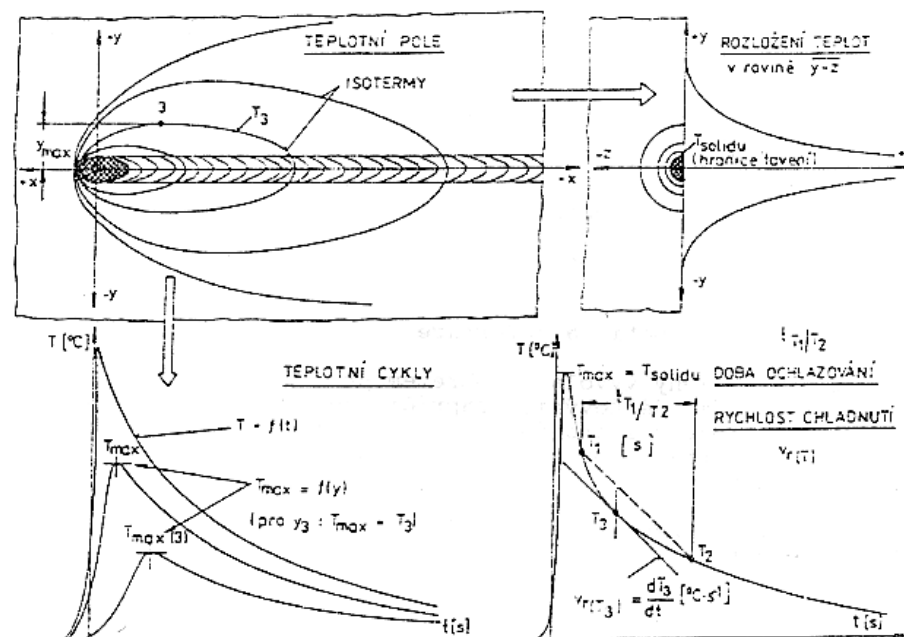


Obr. 2.2 Tepelně ovlivněná oblast [1], [2]

2.4. Tepelné procesy ve svařování [2], [4]

2.4.1. Teplotní pole

Teplotní pole je oblast okolo svaru o teplotě vyšší než je teplota okolí. Oblast je proměnná jak v místě tak i v čase a můžeme ji zobrazit izotermami. Izotermie mají u tavného svařování s bodovým zdrojem tepla přibližně tvar elipsy a spojitě definují pole od teploty tavení na teplotu okolí (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Teplotní pole svaru a teplotní cyklus, doby a rychlosti chladnutí [2]

Faktory, které nejvíce mohou ovlivňovat tvar a velikost teplotního pole jsou např. fyzikální vlastnosti a rozměry základního materiálu, tepelný výkon zdroje a rychlost svařování. Obecně platí, že teplotní pole je tím širší, čím větší je hodnota specifického vneseného tepla Q_s a vyšší tepelná vodivost materiálu.

Pro běžnou praxi má zásadní význam teplotní pole označované jako „kvazistacionární“ jehož předpoklady jsou :

- konstantní velikost výkonu zdroje
- konstantní rychlost svařování
- neměnné rozměrové a fyzikální vlastnosti materiálu tepelně nezávislé.

2.4.2. Teplotní cyklus

Vyneseme-li pro určitý bod v teplotním poli závislost teploty na čase, dostaneme teplotní cyklus (obr 2.3). Při konstantní rychlosti svařování v_s se může definovat vzdálenost $x = v_s \cdot t$ a křivka teplotního cyklu je současně řezem topograficky znázorněného teplotního pole. Teplotní maxima jednotlivých cyklů jsou funkcí vzdálenosti od osy svaru a fyzikálních vlastností materiálu. Velikost plochy nad teplotou překrytí určuje rozsah strukturních změn v základním materiálu [2].

Tvar teplotního cyklu je ovlivňován použitou technologií svařování, přesněji velikost hustoty energie na plochu svaru.

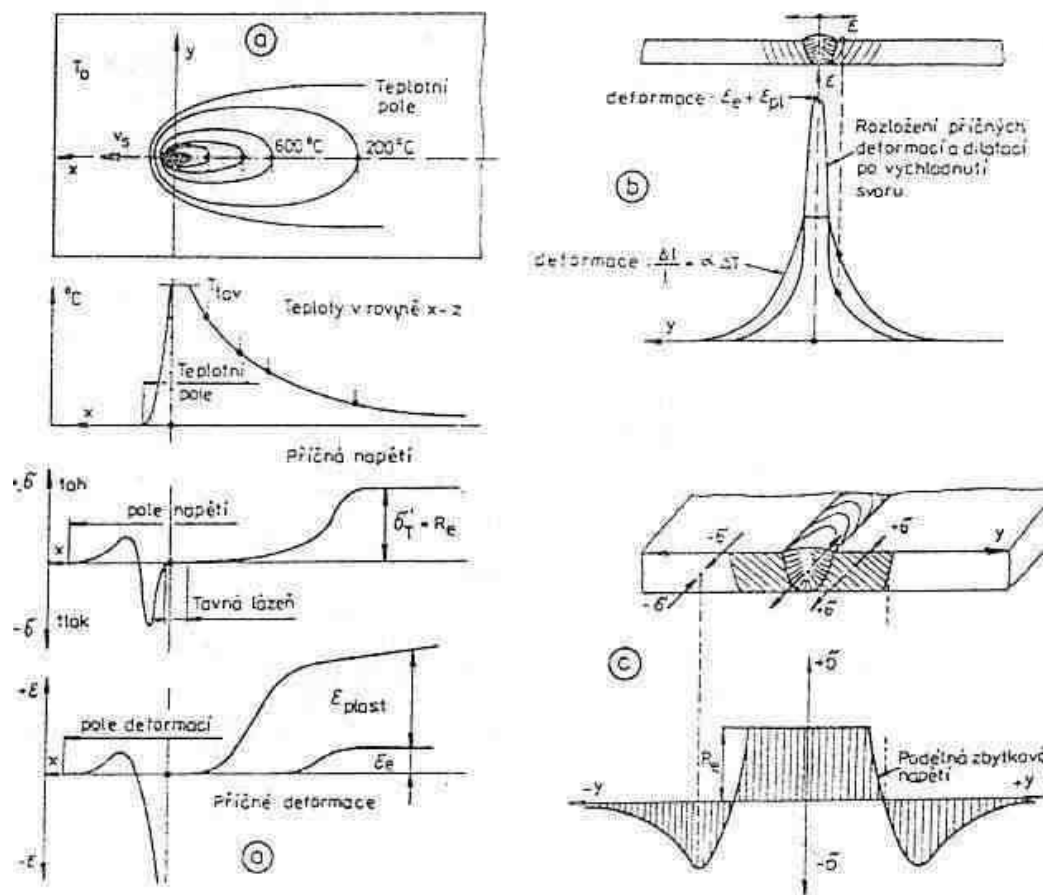
2.4.3. Tepelná napětí a deformace

Teplotní změny vyvolané ohřevem při svařování jsou provázeny vždy délkovými změnami, způsobené roztažností materiálu. U svařování dochází pouze k lokálnímu ohřevu základního materiálu a okolní materiál, který je chladnější, brání délkovým změnám. Teplotní rozdíly vyvolávají tepelná pnutí, která lze přibližně určit ze vztahu [2] :

$$\sigma_T = \alpha \cdot E \cdot \Delta T \quad [\text{MPa}] ; \quad (2.1)$$

kde α – teplotní roztažnost, E – modul pružnosti v tahu, ΔT – rozdíl teplot.

Je zřejmé, že v okolí svaru dochází k rozsáhlým plastickým deformacím, protože při vysokých teplotách se materiál snadno pěchuje i účinkem relativně nízkých napětí (klesají hodnoty R_e a R_m). Během chladnutí dochází ke smrštění materiálu a narůstá jeho pevnost. Ve svarovém spoji zůstanou velká zbytková napětí, která v konečné fázi dosahují až meze kluzu (obr. 2.4). Jakmile dojde k překročení napětí meze kluzu, dochází u svarů k plastickým deformacím, které se projeví změnou tvaru a rozměrů svařence.

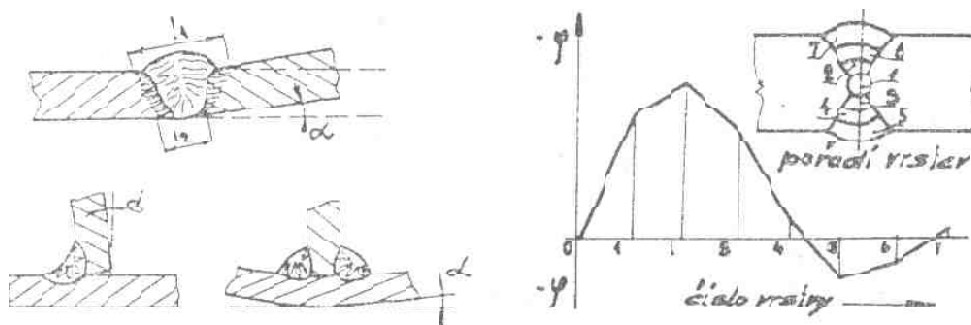


Obr. 2.4 Teplotní, napěťové a deformační pole [2]

a) průběh teplot příčných napětí a deformací, b) rozložení příčných dilatací a deformací, c) rozložení podélných zbytkových napětí.

2.4.4. Deformace svarového spoje

Deformace jsou důsledkem smršťování a teplotního napětí svaru. Deformace můžeme rozdělit na podélné, příčné a úhlové. Podélné deformace se vyskytují hlavně u dlouhých svarů a velkých průřezů svarové housenky. Příčné deformace závisí především na šířce teplotního pole. Úhlové deformace jsou způsobené nesymetrickým průřezem svaru, kde objem kovu na lici svaru smršťuje více než kořen svaru, nebo postupným kladením housenek obr. 2.5.



Obr. 2.5 Úhlové deformace [2].

2.5.Svařování elektrickým obloukem [1], [2], [4]

Elektrický oblouk u převážné většiny metod svařování hoří mezi elektrodou a základním materiálem. Elektrický oblouk je nízkonapěťový elektrický výboj o dostatečné proudové hustotě, který částečně prochází ionizovaným plynem. Stabilní hoření oblouku nastává při vyšším napětí než je ionizace v daném prostředí (páry Fe – 7,8 V) a proudu dostatečném pro udržení plazmy oblouku v ionizovaném stavu [1].

Charakteristické znaky oblouku:

- malý anodový úbytek napětí
- malý rozdíl potenciálů na elektrodách
- proud řádově ampéry až tisíce ampér
- velká proudová hustota katodové skvrny
- intenzivní vyzařování UV záření
- intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku

Fyzikální a metalurgické děje, které se odehrávají při hoření oblouku probíhají velice rychle a za vysokých teplot. Mají vliv na kvalitu hoření oblouku a jsou především ovlivňovány chemickým složením plazmatu, materiálem elektrod, okolní atmosférou, tvarem elektrod, geometrickým uspořádáním, tepelnou vodivostí plazmatu elektrody a základního materiálu [1].

2.6. Zapálení oblouku, způsoby zapálení

Zapálení oblouku nejčastěji probíhá při napětí naprázdno, bývá obvykle vyšší než při ustáleném hoření oblouku. Zápalné napětí bývá $U=60-70$ V a je závislé na druhu a materiálu elektrod, ionizační schopnosti plynného prostředí. Rozsah napětí u běžných metod svařování je $U=10-60$ V a svařovací proud v rozmezí $I=10-2000$ A [1].

Způsoby zapálení oblouku:

1) Zapálení oblouku pomocí krátkodobého dotyku [1]

Tato metoda je využívána u metod ROE (ruční obloukové svařování), ATP (automatické pod tavidlem), MIG, MAG.

Zapálení oblouku probíhá krátkodobým dotykem elektrody se základním materiálem při nastaveném svařovacím proudu. V místě dotyku elektrody se základním materiálem dojde k lokálnímu nahřátí materiálu pomocí elektrického odporu při zkratovém proudu na vysokou teplotu. Nastává termoemise primárních elektronů, které ionizují okolní plynné prostředí. Toto prostředí vytváří podmínky pro vedení elektrického proudu v plynu.

Jakmile se začne oddalovat elektroda dochází k rozvoji oblouku, zvyšuje se odtavování a odpaření částí kovu je dostatečné pro vznik stabilního sloupce oblouku.

U střídavého proudu je zapálení oblouku také závislé na ionizačním napětí par kovů, které jsou v prostoru mezi elektrodami. Ionizační napětí slouží k urychlení elektronu takovým způsobem, aby byl schopen odtrhnout jiný elektron z valenční sféry daného prvku. Nazývá se nárazová ionizace. Ionizační napětí pro hliník je 5,9 V, wolfram 8,1 V. Pro plyny je ionizační napětí vyšší např. argon 15,7 V, oxid uhličitý 13,7 V, dusík 15,5 V.

1) Zapálení oblouku pomocí vysokonapěťového vysokofrekvenčního ionizátoru [1].

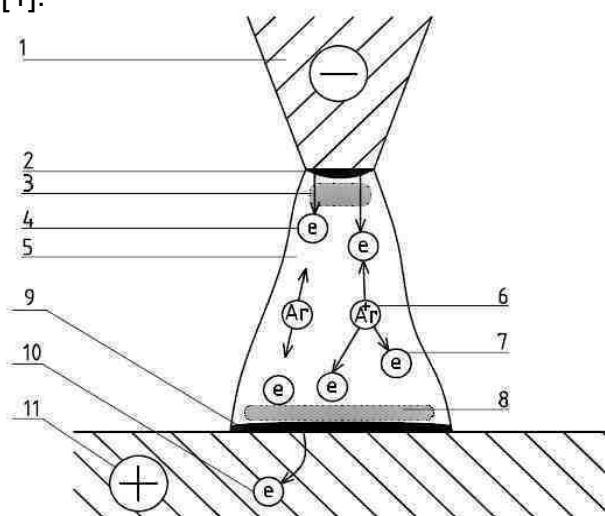
Metoda vysokofrekvenčního zapalování oblouku se využívá u metody WIG/TIG. Dochází k zapálení elektrické jiskry, která ionizuje plynné prostředí výbojem. Dochází k vytvoření podmínek pro vedení elektrického proudu, tím i k rozvoji disociace a ionizace okolního plynného prostředí (ochranný plyn) a zapálení oblouku. Ionizace je možná jen díky termoemisi elektronů z katodové skvrny na elektrodě.

2) Dotykové zapalování tzv. startovacím proudem [1].

Způsob zapalování oblouku startovacím proudem je využíván u metody WIG/TIG. Startovací proud jehož hodnota je nízká a dosahuje maximálně 10 A, ohřívá pouze hrot wolframové elektrody. Tento stav může trvat delší dobu. Při oddalování elektrody se zvyšuje řízeným nárůstem proud na svařovací proud. Výhodou u této metody zapalování je přesné umístění začátku svaru na svarovém úkosu [1].

2.7. Části elektrického oblouku [1], [4]

Popis elektrického oblouku na wolframové elektrodě při stejnosměrném proudu je nejvýstižnější viz. (obr. 2.6). Oblouk hoří mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v prostředí inertního plynu, nejčastěji argonu případně jeho směsí, velice stabilně při zachování konst. stejnosměrného proudu a konst. délky oblouku [1].



Obr. 2.6 [1]

1-katoda; 2-katodová skvrna; 3-prostorový náboj iontů; 4-primární elektrony; 5-sloupec elektronů; 6-kladná ionty plynu Ar; 7-sekundární elektrony; 8-prostorový náboj elektronů; 9-anodová skvrna; 10-anoda; 11-neutralizace elektronů.

Katodová skvrna:

Část povrchu žhavé katody, podle geometrie a teploty je buď stabilní nebo se po povrchu katody přemisťuje. Proudová hustota dosahuje až 1000 A/mm^2 . V oblasti katodového úbytku napětí elektrony získávají velkou kinetickou energii, které jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Oblast katodového úbytku napětí se nachází těsně u katody o tloušťce asi 0.1 mm . V této oblasti nastává prudký úbytek napětí [1].

Sloupec oblouku:

Prostor mezi elektrodami jasně zářící a dosahuje vysokých teplot. Fyzikálně je sloupec oblouku tvořen plazmatem, tj. ionizovaným elektricky vodivým plynem o vysoké teplotě. Maximální teplota závisí především na počtu srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnot napětí. Dalším faktorem ovlivňující teplotu je prostředí oblouku, které určuje stupeň disociace a ionizace v závislosti na teplotě, např. 90% disociace se dosáhne u CO_2 při 3800 K [1].

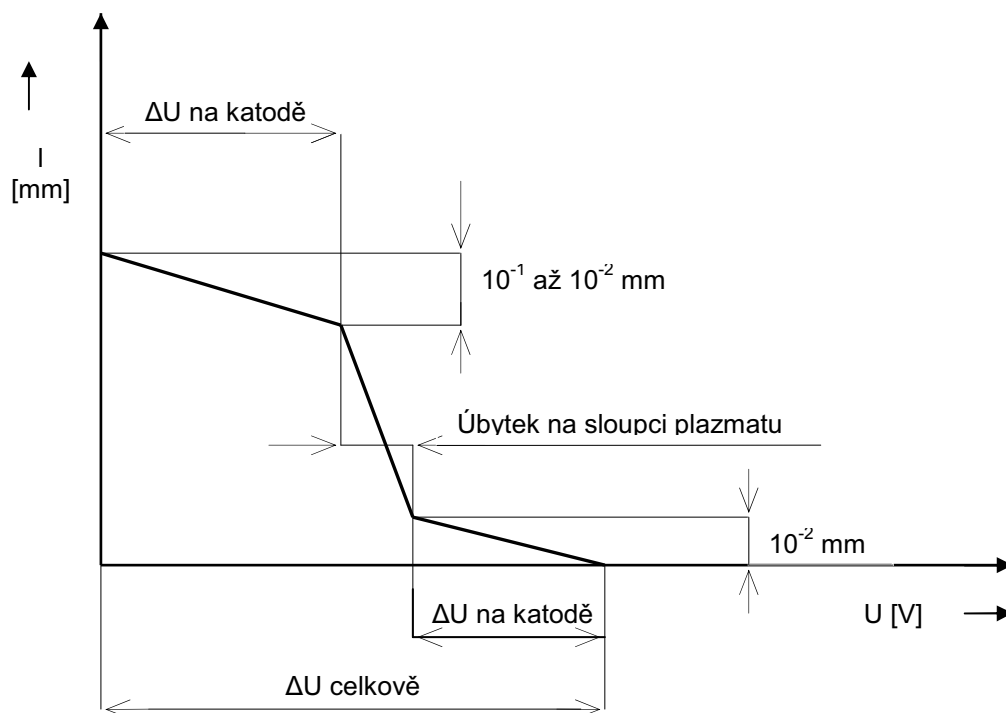
Rozložení proudové hustoty ve sloupci oblouku, teploty i tlaku odpovídá normálnímu Gaussovu rozdělení s maximem v prodloužení osy elektrody. Vedení proudu ve sloupci zajišťují hlavně elektrony, neboť mají nesrovnatelně menší hmotu než nejmenší ionty a pohybují se mnohem rychleji ve směru spádu napětí. Hmotné části plazmového plynu, kladné ionty, se při nižších hodnotách pohybují směrem od anody ke katodě účinkem přitažlivých elektrostatických sil. Při překročení kritické hodnoty proudu začne plazma proudit směrem od elektrody k základnímu materiálu bez ohledu na polaritu. Tento jev souvisí s intenzitou kruhového magnetického pole, které je indukováno proudem protékajícím obloukem, působící na plazmu silou, která směřuje vždy k základně kužele oblouku (od elektrody k základnímu materiálu). Rychlost proudění se pohybuje od 10 až 100 m/s , což ovlivňuje rozdělení teplot v oblouku a má i mechanický účinek na základní materiál [1].

Anodová skvrna:

Anodovou skvrnou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie se mění na tepelné a z části i na elektromagnetické záření. Oblast anodového úbytku napětí leží u anody a má tloušťku asi 10^{-2} až 10^{-3} mm . V této oblasti dochází k velkému úbytku napětí [1].

Spád napětí na oblouku:

Celkové napětí U na oblouku délky l je rovno součtu napětí v jednotlivých oblastech (obr. 2.7). Pokles napětí na anodě a katodě závisí na ionizačním potenciálu plynů v oblouku. Záleží na druhu a tlaku plynu a na materiálu elektrod. Pokles napětí v plazmatu závisí na složení a tlaku par obklopujících oblouk [4].



Obr. 2.7 Spád napětí na oblouku [4]

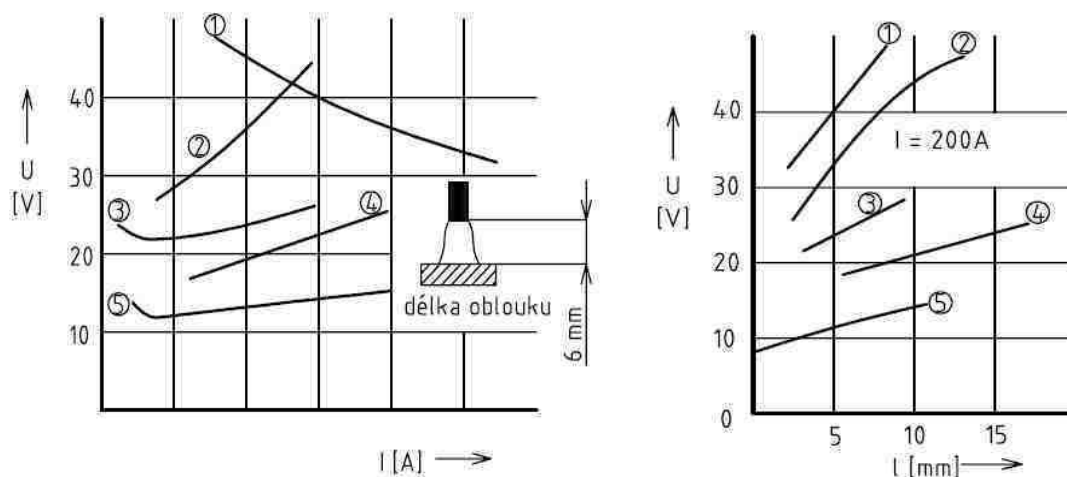
2.8. Voltampérová charakteristika elektrického oblouku [1], [4]

Voltampérová charakteristika elektrického oblouku (obr. 2.8) vyjadřuje závislost elektrického napětí na oblouku U a svařovacího proudu I . Voltampérová charakteristika se mění s každou použitou metodou svařování. Voltampérová charakteristika se vždy připisuje ke konstantní délce oblouku l . Při změně délky oblouku se mění i křivky napětí. Zpočátku má voltampérová charakteristika oblouku klesající tendenci, horní část křivky udává napětí od zapálení oblouku (je vyšší než při hoření oblouku) a spodní část znázorňuje napětí při svařování. Kvůli i malým změnám chemického složení elektrod, průměru hrotu či použitého plynu, mohou vést k velkým změnám voltampérové charakteristiky. Proto byla zavedena tzv. standardní statická V-A charakteristika, která je vyjadřovaná vztahy:

$$\text{MMA (111)} \quad U = 20 + 0,04 \cdot I \quad [\text{V}] \quad (2.2)$$

$$\text{MAG (135)} \quad U = 15 + 0,035 \cdot I \quad [\text{V}] \quad (2.3)$$

$$\text{WIG (141)} \quad U = 10 + 0,04 \cdot I \quad [\text{V}] \quad (2.4)$$



Obr. 2.8 Voltampérová charakteristika oblouku [1]

2.9. Tepelné účinky oblouku [1], [4]

Obloukové svařování je hojně používáno pro svůj intenzivní zdroj tepla koncentrovaným na poměrně malou plochu a dobrou účinnost přenosu tepla do svaru. Vhodná úprava svařovacích parametrů je důležitou operací pro docílení nejlepších možných vlastností svaru. Nastavením lze měnit tepelné i mechanické účinky oblouku a tím ovlivňovat charakter a rozměry svarové lázně, tepelné ovlivnění základního materiálu, zbytková napětí a případně i deformace.

Celkový výkon oblouku :

$$P = k \cdot U \cdot I \quad [\text{J}] \quad (2.5)$$

kde k – je součinitel vlivu napětí a proudu (pro stejnosměrný proud =1)

Vzniklé teplo v oblouku lze obecně rozdělit na 1/3 předanou katodě a 2/3 předanými anodě. Důvodem rozdělení je ochlazování katody termoemisí elektronů, jejímž dopadem se anoda zahřívá.

Celková tepelná energie Q_c :

$$Q_c = Q_i + Q_p + Q_r + Q_m \quad [\text{J}] \quad (2.6)$$

Q_i – energie přímého vybavení tepla na katodě nebo anodě dopadem částic.

Množství tepla vybaveného v jednotlivých oblastech oblouku je úměrná příslušnému úbytku napětí, např. teplo na anodě –

$$Q_a = U_a \cdot I \cdot t \quad [\text{J}] \quad (2.7)$$

Q_p – energie přenášená tokem plazmatu. Je důležitá pro tepelné a mechanické účinky oblouku.

Q_r – energie radiačního záření. Je závislá na polaritě, geometrických vlastnostech elektrody a na svarové lázni. Je to část pohlceného záření sloupce oblouku. Tato energie dosahuje 15 – 25 % z celkové energie oblouku.

Q_m – energie přenášená do svarového kovu entalpií kapek přehřátého kovu a kinetickou energií kapek dopadající rychlosti 0,5 – 1,5 m/s. Z celkového množství přenosu energie tato složka činí 10 – 20 %.

Celková tepelná účinnost η :

$$\eta = \frac{Q_{sv} - \text{energie vnesená do svarového spoje}}{Q_{obl} - \text{celková energie oblouku}} \quad (2.8)$$

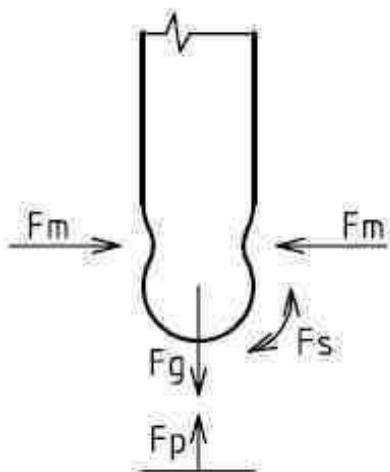
2.10. Mechanické účinky oblouku [1]

Hluboký závar je požadavek kladený na jednotlivé metody svařování. Síly, které působí na tavnou lázeň jsou vyvozovány celou řadou faktorů a mají různý podíl vlivů, které jsou závislé na parametrech svařování. Největší vliv u všech metod svařování má tlak proudu plazmatu. Tlak je vyvolán vysokou rychlostí proudění plazmatu (až 100 m/s). Proudění plazmatu je závislé na prostředí ochranného plynu, především na jeho měrné hmotnosti.

2.11. Silové působení na přenos kovu v oblouku [1], [2], [4]

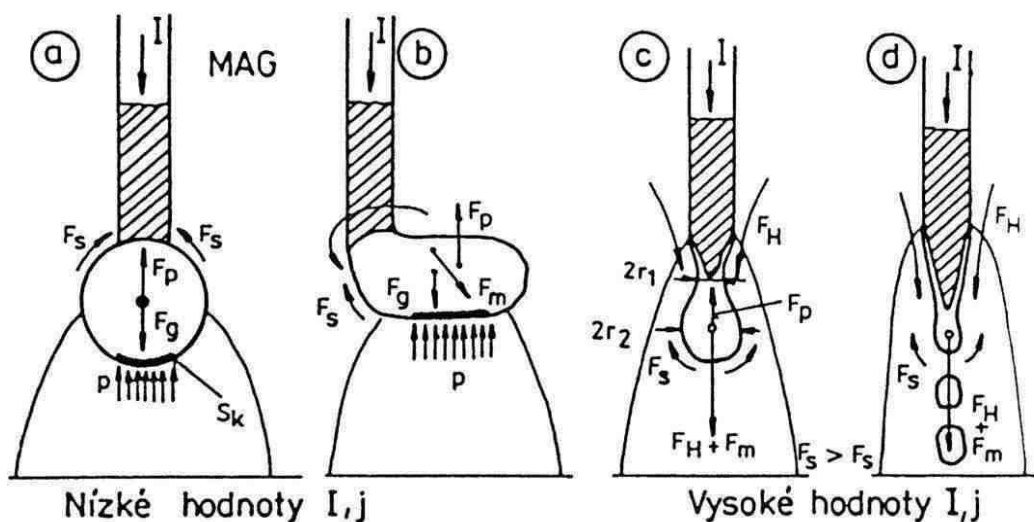
Při obloukovém svařování tavící se elektrodou dochází ve sloupci oblouku k přenosu roztaveného kovu do svarové lázně. Tento přenos se děje různými způsoby a je ovlivňován zejména proudovou hustotou, průměrem elektrody, polaritou, obecným nastavením svařovacích parametrů.

Oddělení jedné kapky roztaveného kovu (obr. 2.9) z elektrody a její přechod sloupcem oblouku je závislý na systému působení sil a na chemických faktorech. Jedná se o silové účinky elektronů, elektrostatické a elektrodynamické síly způsobené elektromagnetickým polem, silový účinek zemské přitažlivosti, silový účinek vypařování a tepelných proudů, povrchových napětí, chemických reakcí a dalších účinků.



Obr. 2.9 Oddělení kapky kovu od elektrody [4].
(F_s – povrchové napětí, F_m – síla způsobená elektromagnetickým polem, F_g – gravitační síla, F_p – silový účinek vypařování.)

Při různých proudových hustotách se mění tvar a velikost odtavujícího se kovu (obr 2.10).



Obr. 2.10 Síly působící na kapku tavící se elektrody při různých proudových hustotách [4].

(a,b – při nízkém proudu,

c,d – při vysokém proudu)

F_s – síla povrchového napětí

$$F_s = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \gamma \quad [N] \quad (2.9)$$

Síla působí na konci elektrody a snaží se udržet kapku v kruhovém tvaru r – poloměr kapky, γ – povrchové napětí. Klesá se vzrůstající teplotou a při nízkých proudech je povrchové napětí poměrně vysoké. Na elektrodě se udrží poměrně velká kapka, naopak při vyšším proudu se zvyšuje teplota a povrchové napětí klesá.

F_p – Síla vyvolaná tlakem kovových par

$$F_p = \text{konst} \cdot S_s \cdot I \cdot j \quad [N] \quad (2.10)$$

Síla působí proti oddělení kapky z důvodu tlaku odpařovaného kovu tryskajícího z katodové či anodové skvrny. I – svařovací proud, S_s – plocha katodové skvrny.

F_g – gravitační síla

$$F_g = m \cdot g \quad [N] \quad (2.11)$$

Gravitační síla má jen malý vliv, který se projevuje při svařování v polohách.

g – gravitační zrychlení, m – hmotnost kapky.

F_m – elektromagnetická síla

$$F_m = \text{konst} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad [N] \quad (2.12)$$

I – svařovací proud, r_2 – poloměr kapky, r_1 – poloměr v místě seškrcení. Proud, který prochází ohřátým koncem elektrody indukuje válcové magnetické pole, které působí radiální silou (pinch efekt). Radiální síla má výrazný vliv na zúžení konce elektrody. Elektromagnetická síla má největší vliv na přenos kovu v oblouku a výrazná axiální složka síly umožňuje svařovat v libovolných polohách.

Fh – hydrodynamická síla, působí při proudových hustotách, kdy plazma proudí rychlostí kolem 100 m/s. Napomáhá oddělování kapek z elektrody a urychluje kapky směrem do tavné lázně. Tato síla má největší vliv při sprchovém přenosu.

Spolupůsobení uvedených sil zajišťuje oddělování kapek v závislosti na podmínkách svařování. Nejdůležitějšími parametry pro přenos jsou svařovací proud a proudová hustota.

3. Svařovací zdroje pro obloukové svařování [1], [4]

Svařovací zdroje nám dodávají elektrickou energii potřebnou pro zapálení a hoření elektrického oblouku, které mají vlastnosti pro danou metodu svařování.

Požadavky, které jsou kladeny na svařovací zdroje :

- bezpečná konstrukce dle platných norem a předpisů
- dobré zapalování oblouku a stabilní oblouk
- stálý výkon a vysoká účinnost
- statická charakteristika musí odpovídat způsobu svařování
- plynulá regulace parametrů svařování (proud, napětí – podle způsobu svařování)
- odolnost vůči krátkodobým zkratům při zkratovém přenosu kovu obloukem
- dynamická charakteristika musí zabezpečit po zkratu rychlý nárůst svařovacího napětí
- co nejjednodušší obsluha
- nízké provozní náklady

3.1. Rozdělení svařovacích zdrojů

Pro obloukové svařování dělíme svařovací zdroje dle:

1) způsobu přeměny energie:

- zdroje rotační (svařovací dynama)
- zdroje statické, netočivé (svařovací transformátory, usměrňovače, měniče)

2) druhu dodávaného proudu:

- zdroje stejnosměrného proudu (svařovací dynama)
- zdroje usměrněného proudu (svařovací usměrňovače, měniče)
- zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory)

zdroje statické se dělí na :

A) zdroje se síťovým transformátorem

a) zdroje střídavého proudu

- svařovací transformátory

b) zdroje stejnosměrného proudu

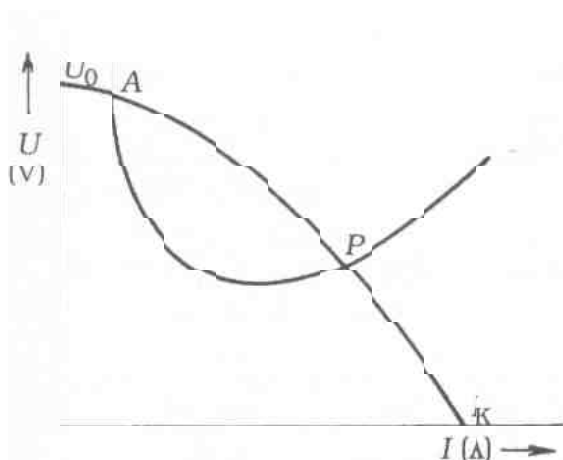
- svařovací usměrňovače – neřízené
- svařovací usměrňovače – řízené

B) zdroje bez síťového transformátoru

- svařovací měniče (inventory)

3.2. Statická charakteristika zdroje svařovacího proudu [1], [4]

Statická charakteristika svařovacího zdroje vyjadřuje závislost proudu tohoto zdroje na napětí, a to při ustálených podmínkách (obr. 3.1). Krajní body zatěžovací

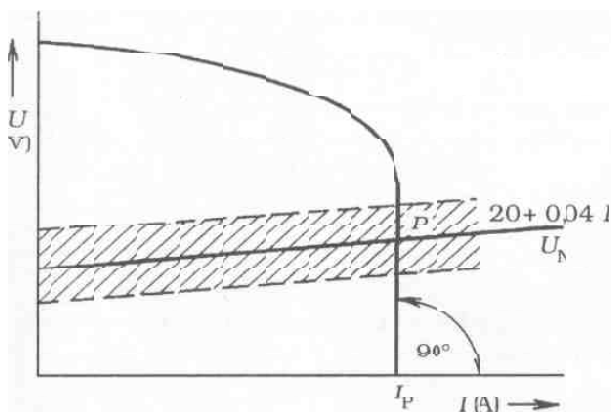


Obr. 3.1 Statická charakteristika zdroje [4] svařovacího proudu, kde A – zápalný bod, P - pracovní bod, U_0 – napětí naprázdno, I_K - zkratový proud.

statické charakteristiky jsou určeny dvěma stavy – stav naprázdno a stav nakrátko. Napětí je nejvyšší při stavu naprázdno, přičemž neprotéká žádný proud svařovacím obvodem. Při stavu nakrátko (zkratový proud) (elektroda je v kontaktu se svařovaným materiálem) svařovacím obvodem protéká nejvyšší proud a napětí na zdroji je téměř nulové.

Podle průběhu statické charakteristiky v okolí pracovního bodu, tzn. podle strmosti charakteristiky se určují charakteristické vlastnosti svařovacích zdrojů:

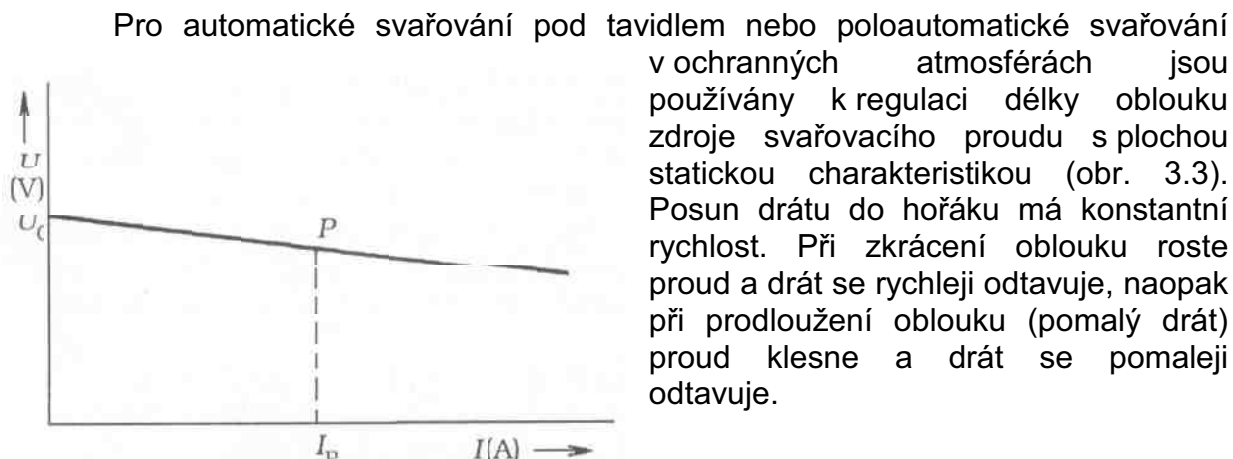
- zdroje s konstantním napětím (tvrdé zdroje) zatěžovací charakteristika těchto zdrojů je plochá. Se zvyšováním svařovacího proudu jen malé změny napětí.
- zdroje s konst. proudem (měkké zdroje), zatěžovací charakteristika je strmá. Při změně napětí na oblouku jen nepatrné změny svařovacího proudu.
- zdroje s konst. výkonem mají při rostoucím svařovacím proudu pokles napětí na zdroji takový, že jejich součin $U \cdot I$ (výkon) je možno považovat za konstantní. Zatěžovací charakteristika je mírně klesající.



Obr. 3.2 Strmá statická charakteristika [4], P – pracovní bod, I_P – pracovní proud, U_N – normalizované pracovní napětí na oblouku.

Pro ruční obloukové svařování se používá tzv. strmá statická charakteristika (obr. 3.2). Při svařování je v okolí pracovního bodu křivka kolmá na osu I . Při změně délky oblouku se nemění svařovací proud. Změna délky oblouku může být způsobena nerovností povrchu, neklidným vedením elektrody apod. Šrafovaná

oblast označuje oblast změny napětí v závislosti na délce oblouku.



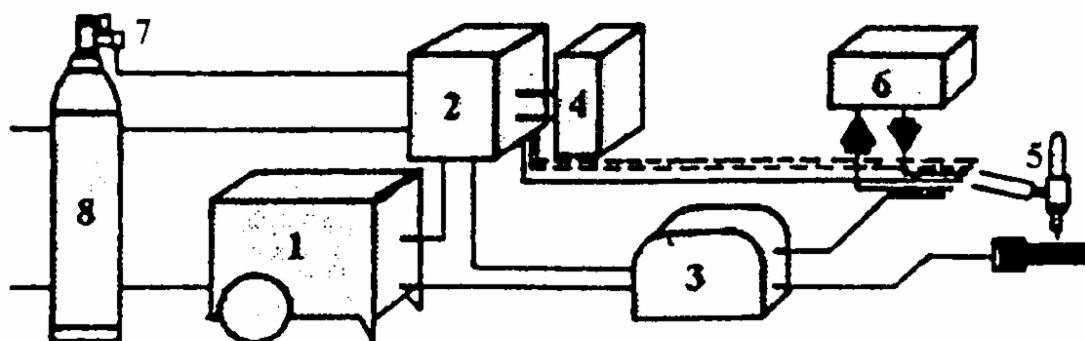
Obr. 3.3 Plochá statická charakteristika [4],
 P – pracovní bod, U_0 – napětí na prázdko,
 I_p – pracovní proud.

4. Svařování metodou WIG (TIG) [1], [2], [3], [4], [15], [17]

Při svařování metodou WIG (TIG) hoří oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Jako ochrana svaru vůči vnějším vlivům se používá inertní plyn, nejčastěji argon (Ar), helium (He), případně jejich směs. Při svařování se používá střídavý a stejnosměrný proud. Lze svařovat bez přídavného nebo s přídavným materiálem ve formě drátu, který se přivádí do oblouku ručně nebo pomocí podavače drátu.

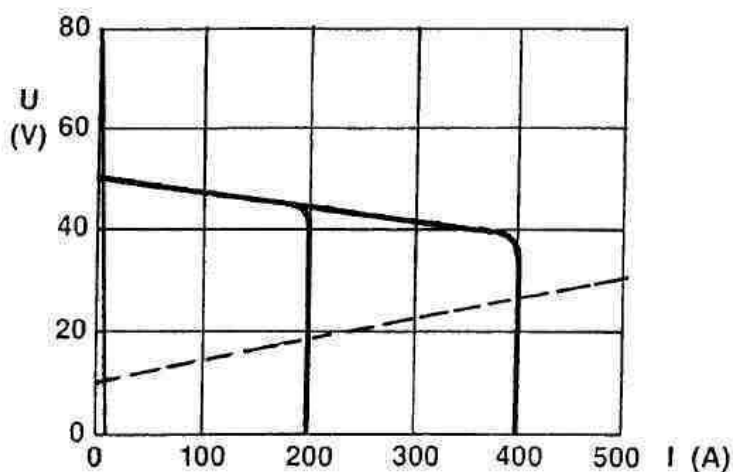
4.1. Svařování stejnosměrným proudem [1], [4]

Základní sestava zařízení pro svařování WIG stejnosměrným proudem (obr. 4.1).



Obr. 4.1. Základní sestava pro svařování WIG stejnosměrným proudem [1]
 1 – zdroj stejnosměrného proudu; 2 – řídicí jednotka svařovacího obvodu; 3 – zapalovací jednotka; 4 – programátor; 5 – svařovací hořák; 6 – chladicí jednotka; 7 – redukční ventil; 8 – zásobník plynu.

Zdroj stejnosměrného proudu je usměrňovač se síťovým transformátorem nebo inventar se strmou statickou charakteristikou. Napětí naprázdno nebývá obvykle vyšší než 75 V. Strmá charakteristika zdroje s vyznačenou standardní charakteristikou oblouku je zobrazená na (obr 4.2).



Obr 4.2 Voltampérová charakteristika zdroje pro WIG svařování [4]

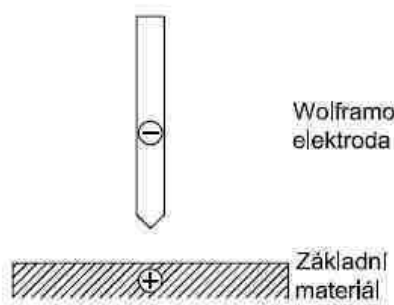
Řídící jednotka obsahuje prvky k ovládání svařovacího procesu – začátek a ukončení svařování, náběh na začátku a sestup proudu na konci procesu, řízení různých úvodních proudů při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálu, tzv. minilogika, pulzní seřízení, zapínání a přerušování proudu [1].

Zapalovací jednotka zabezpečuje jiskrové bezzkratové zapálení oblouku pomocí vysokofrekvenčního vysokonapětového ionizátoru, nebo zkratem při velmi malém zapalovacím proudu, maximálně 6 A. Řídícím prvkem je při oddalování elektrody automaticky zvyšován proud na svařovací hodnotu [1].

Programátor v přímé návaznosti na řídící jednotku zabezpečuje nastavení předfuku a dofuku plynu, zapínání a regulaci okruhu chladicí vody aktivace činnosti ionizátoru. Při mechanizovaném způsobu svařování řídí veškerý pohyb hořáku, případně celé svařovací řady. Programátor je v případě robotizovaného svařování napojen přímo na řídící systém robota [1].

Chladicí jednotka zabezpečuje cirkulaci chladicí vody v celém systému. Skládá se ze zásobníku chladicí vody, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru na chlazení vody a propojovací hadice s rychlospojkami. Zásobník ochranného plynu zabezpečuje spolu s redukčním ventilem požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem [1].

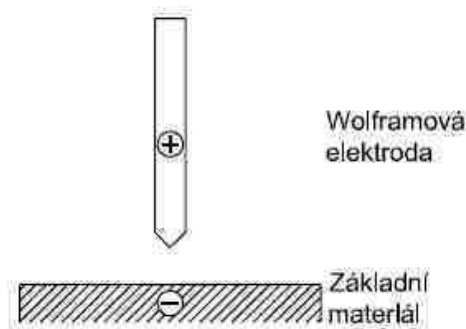
Při svařování stejnosměrným proudem je základním zapojením při svařování metodou WIG. Při tomto zapojení je elektroda připojená k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál ke kladnému. Tomuto se říká přímé zapojení (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Základní, přímá polarita [4].

Rozdělení tepla v oblouku je nerovnoměrné a asi 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Díky tomuto rozložení tepla není elektroda tepelně přetěžována a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Také na velkou hloubku závaru má vliv dopad elektronů, které svoji kinetickou energii přeměňují na tepelnou [1].

Přímá polarita u svařování stejnosměrným proudem se používá pro spojování všech typů ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin. Přímé zapojení se také používá pro svařování hliníku v ochranné atmosféře, podle tloušťky stěny svařovaného materiálu se pak volí vhodná směs ochranného plynu. Nejčastěji se používá směs argonu a hélia, přičemž hélium se přidává z důvodu přivedení většího množství tepla do svarového kovu a tím umožní roztavení povrchových oxidů. Oxidy se vlivem povrchových sil stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně zůstává čistý. Tímto způsobem svařování se nejčastěji provádějí opravy a renovace silnostěnných hliníkových odlitků nebo svarků [1].

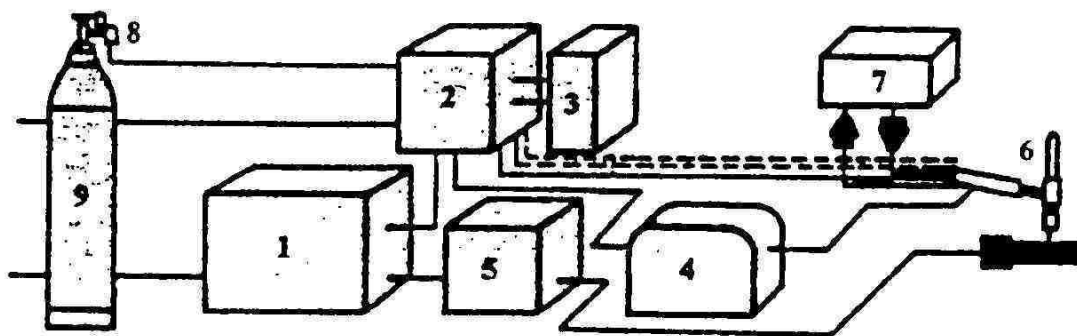


Obr. 4.4 Nepřímá polarita [4].

Nepřímá polarita se z důvodu velkého tepelného zatížení elektrody používá jen výjimečně např. pro svařování tenkých hliníkových svarků s nízkým proudem.

4.2. Svařování střídavým proudem [1], [4]

Zařízení na svařování střídavým proudem obr. 4.5 je ve srovnání se zařízením pro stejnosměrné svařování složitější, přestože většina komponentů je stejná.



Obr. 4.5 Zařízení na svařování střídavým proudem [1]

1-zdroj střídavého proudu; 2-řídící jednotka; 3-stabilizátor oblouku; 4-zapalovací jednotka; 5-baterie kondenzátoru; 6-svařovací hořák; 7-chladicí jednotka; 8-redukční ventil; 9-zásobník plynu.

Zdroj střídavého proudu-je nejčastěji svařovací transformátor upravený na svařování metodou WIG pomocí výkonových elektronických prvků, které zvyšují strmost statické charakteristiky. U nových invertorových zdrojů je střídavé napětí odebíráno za vysokofrekvenčním transformátorem.

Stabilizátor – je zdrojem vysokonapěťových impulsů s vysokou frekvencí, které působí pouze v době, kdy svařovací proud má nulovou hodnotu a plní funkci pomocné zapalovací jednotky – ionizátoru.

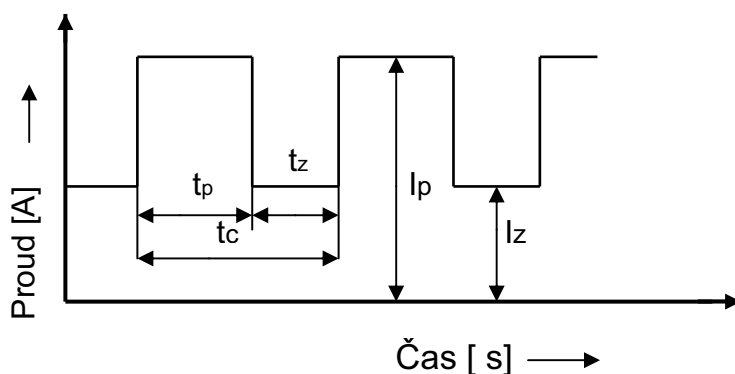
Baterie kondenzátoru – plní důležitou úlohu především při svařování hliníku a hliníkových slitin. Vyrovnává deformovaný sinusový průběh, který je způsobený rozdílným ionizačním potenciálem wolframu a hliníku. Zlepšuje se tím čistící efekt svařovacího oblouku. Moderní svařovací zdroje jsou vybaveny funkcí „balance“, která umožňuje nastavení kladné či záporné periody proudu. Touto funkcí lze ovlivňovat čistící efekt.

Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku při kladné polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Největším problémem při svařování hliníku je oxidická vrstva Al_2O_3 , která má výrazně vyšší teplotu tavení (2050°C) oproti základnímu materiálu, který má teplotu tavení 658°C .

Čistící účinek nastává při kladné polaritě na elektrodě. Na základním materiálu se vytvoří katodová skvrna, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy. Tato místa mají nižší emisní energii pro emisi elektronů a po zasažení katodovou skvrnou se oxidy snadněji odpaří. Druhá forma čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty o relativně vysoké hmotnosti, které jsou urychlovány směrem k tavné lázni, působí na oxidy mechanickým účinkem. Dynamickým účinkem tohoto proudu dochází ke stažení vrstvy oxidu k okraji svarové lázně. Při kladném zapojení elektrody vzniká pouze malý závar, vysoká hloubka závaru se dosahuje při zapojení elektrody na záporný pól zdroje, kdy do tavné lázně dopadají urychlené elektrody [4].

4.3. Svařování impulsním proudem [1], [4]

Impulsní svařování je nejnovější variantou WIG svařování, při kterém se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami a to základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Tvary průběhu impulsů proudu mohou být, pravoúhlý (obr. 4.6.), sinusový, lichoběžníkový nebo jiný [1].



Obr. 4.6 Pravoúhlý tvar impulzního proudu [4]

I_Z -základní proud jehož hodnota se pohybuje cca 10-15A, tento proud zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase t_Z . Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což se využívá pro svařování vysokolegovaných ocelí. V průběhu kratší doby základního proudu lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. Tohoto se využívá v praxi při požadavku zvláště hladkého svaru a s plynulým přechodem do základního materiálu [1].

I_P -impulsní proud v čase t_P dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu. Tímto se docílí velice přesná regulace svářecího režimu. Průměrné hodnoty svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší, než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem, a proto vykazují svary malou tepelně ovlivněnou oblast i výborné plastické vlastnosti, včetně nižší náchylnosti na praskání a menší deformace [1].

Druhy modulace při impulsním svařování :

- 1) pro tloušťky materiálu 4 – 6 mm, dlouhé pulsy od 1 do 10 s.
- 2) pro tloušťky 0,8 – 5 mm, střední pulsy s frekvencí 1 až 100 Hz.
- 3) malé tloušťky 0,2 – 0,8 mm, velmi krátké pulsy s frekvencí 1 až 20 MHz, použití pro svařování Ti a speciálních ocelí.

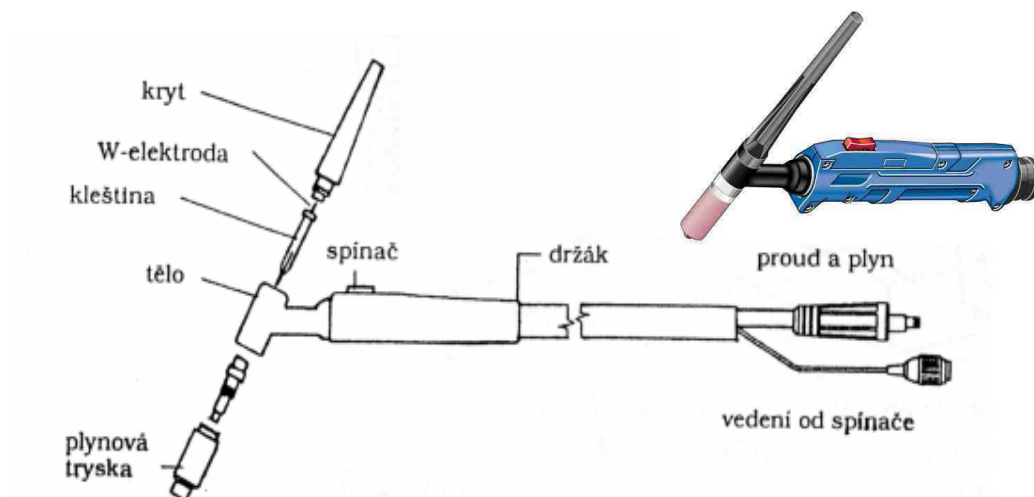
Při impulsním způsobu svařování je důležitá rychlost svařování. Správná volba rychlosti svařování nám zajistí dokonalé překrytí jednotlivých bodových svarů rovnoměrně na straně povrchu i kořene. Čím vyšší frekvence, tím vyšší může být svařovací rychlost.

Výhody a využití impulsního svařování :

- snížení tepelného ovlivnění materiálu a tím i menší deformace
- vzhled svarové housenky a velmi dobré formování
- výhodný průřez svaru
- široká oblast regulace svařovacího proudu
- mechanické a plastické vlastnosti svarů
- polohové svary
- svařování různých tloušťek materiálu
- svařování materiálů citlivých na přehřátí
- jednostranně přístupné svary.

4.4. Hořáky pro svařování metodou WIG (TIG) [1], [15]

Svařovací hořák (obr. 4.7) zajišťuje přívod a nasměrování ochranného plynu, přívod proudu k elektrodě, polohuje wolframovou elektrodu, přívod a odvod chladicí kapaliny.



Obr 4.7 Svařovací hořák pro svařování metodou WIG [1], [15]

Hořáky pro menší výkony (do 150 A) chladíme procházejícím plynem a okolním vzduchem. Pro strojní svařování a vyšší výkony svařování (350-500 A) používáme vodou chlazené hořáky.

Svařovací hořáky obsahují vyměnitelné kleštiny (obr.4.8), které zajišťují pevné uchycení a proudové napájení wolframových elektrod. Dobré upnutí je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu.



Obr. 4.8. Vyměnitelné kleštiny [15]

Obr. 4.9 Keramické trysky [15]

Keramické trysky (obr. 4.9) se používají pro ruční hořáky chlazené procházejícím plynem a kovové, nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou.

Průměr a tvar plynových trysek se volí podle požadované plochy, kterou chceme chránit. Průměry trysek v závislosti na proudovém rozsahu jsou v tab. č. 4.1.

Tab. 4.1 Doporučené průměry plynových trysek

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

Pro zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čočky (sítka) (obr. 4.10), které prodlužují laminární proudění plynu a usnadní přístup k místu svařování vysunutím elektrody. Plynová sítky mohou snížit množství ochranného plynu až o 50% a umožňují vysunutí elektrody na 15 až 20 mm.



Obr. 4.10 Plynové čočky (sítka) [15]

4.4.1. Elektrody pro svařování metodou WIG/TIG[1], [15]

Netavící se elektrody, které se používají při svařování metodou WIG se vyrábějí ze spékaného wolframu (teplota tavení 3380°C, teplota varu 5700 °C, měrný elektrický odpor $5,36 \cdot 10^{-8}$ ohmů, hustota $19,1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce) a dalších, které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Oxidy snižují teplotu ohřevu elektrody o 1000°C, zvyšují životnost, zlepšují zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Délku životnosti a vyšší proudovou zatíženost podporuje také vysoká teplota tavení oxidů.

Teploty tavení oxidů:

- oxid thoričitý ThO_2 3300°C
- oxid lanthanitý La_2O_3 2300°C
- oxid zirkoničitý ZrO_2 2700°C
- oxid ceričitý CeO_2 2600°C

Elektrody jsou normalizovány v ČSN EN 26 848 a jejich složení a barevné značení je uvedeno v tab. 4.2. Spotřeba netavící se elektrody při zatížení je asi 4 mm za hodinu.

Tab. 4.2 Značení wolframových elektrod

Označení	Hmotnostní procento oxidů	Barevné označení
WP		Zelená
WT 10	ThO ₂ 0,9 – 1,2	Žlutá
WT 20	ThO ₂ 1,8 – 2,2	Červená
WT 30	ThO ₂ 2,8 – 3,2	Fialová
WT 40	ThO ₂ 3,8 – 4,2	Oranžová
WZ 8	ZrO ₂ 0,7 – 0,9	Bílá
WL 10	LaO ₂ 0,9 – 1,2	Červená
WC 20	CeO ₂ 1,8 – 2,2	Šedá
WL 20	La ₂ O ₃ 1,8 – 2,2	Modrá
WS 2	Vzácné zeminy	Tyrkysová
WLYC 10	La ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃ +CeO ₂ 0,8 – 1,2	Zlatá

Značení wolframových elektrod:

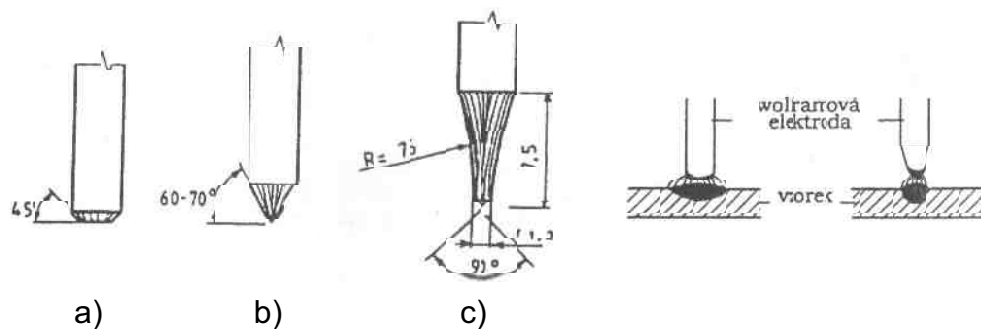
- 1) – první písmeno W – jedná se o wolfram jako základní prvek
- 2) – druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů, T – oxid thoričitý, Z – oxid zirkoničitý, L – oxid lantaničitý, oxid ceričitý.
- 3) – jako druhé písmeno P – čistý wolfram
- 4) – číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů



Obr. 4.11 Barevné odlišení wolframových elektrod [15]

4.4.2. Broušení funkčního konce wolframové elektrody :

Tvar konce funkční části wolframové elektrody závisí na druhu svařovacího proudu. U stejnosměrného proudu se elektroda brousí do kužele s vrcholovým úhlem s přihlédnutím na svařovací proud. Při svařování střídavým proudem se brousí elektroda do tupého konce a při zatížení svařovacím proudem dojde k povrchovému natavení do kulového tvaru. Broušení konců elektrod je na (obr. 4.11).

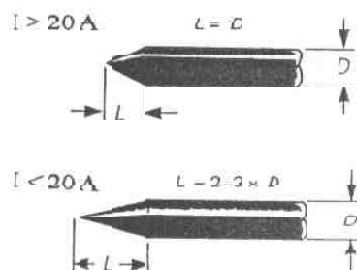


Obr. 4.11 Broušení konců wolframových elektrod a vliv úhlu broušení na hloubku Závaru [4]

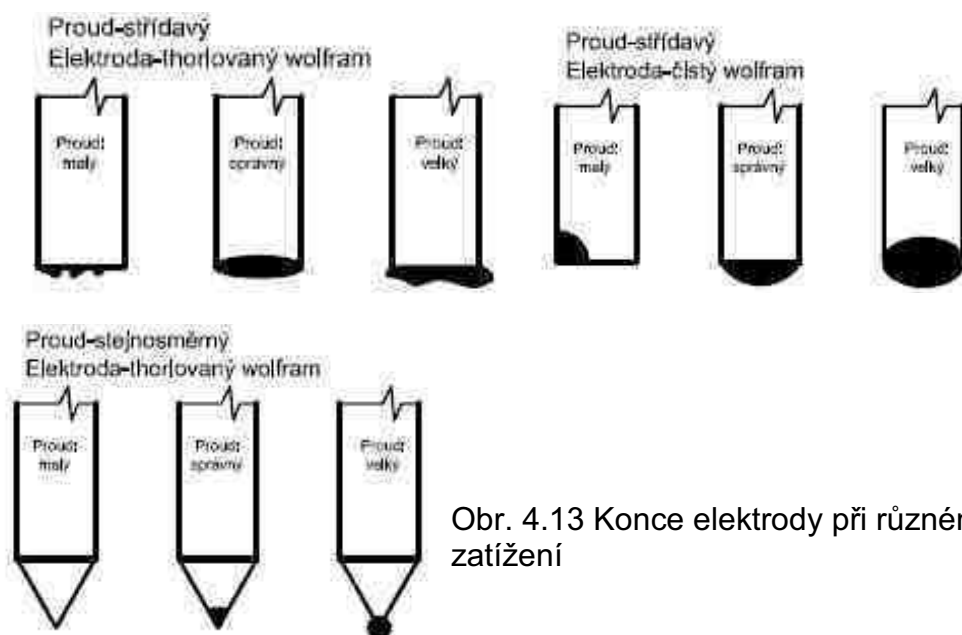
- a) pro ruční svařování střídavým proudem
- b) pro ruční svařování stejnosměrným proudem
- c) pro strojní svařování stejnosměrným proudem

Doporučené hodnoty vrcholového úhlu pro stejnosměrný proud:

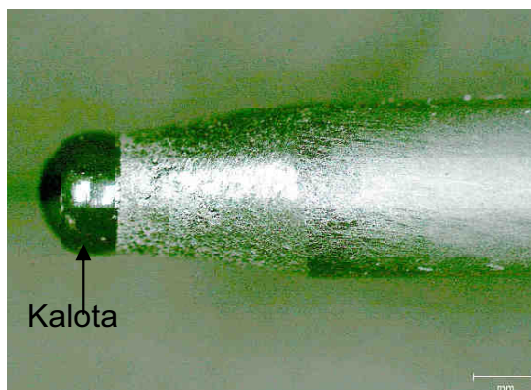
Svařovací proud	Vrcholový úhel
Do 20 A	30°
20 až 100 A	60° - 90°
100 – 200 A	90° - 120°
Nad 200 A	120°



Po nabroušení a zapálení oblouku vzniká na hrotu elektrody kalota obr. 4.13. Kalota pak po provozu může mít různý tvar způsobený nastavením svařovacích parametrů. Různé tvary za různých podmínek svařování jsou znázorněny na (obr. 4.12).



Obr. 4.13 Konce elektrody při různém zatížení



Obr. 4.12 Kalota na hrotu wolframové elektrody

4.4.3. Ochranné plyny [1]

Ochranné plyny plní úlohu chránit elektrodu, svarovou lázeň a okolí před přístupem okolního vzduchu, především proti oxidaci a naplynění. Současně vytvářejí příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilní hoření, přenos tepla do svaru i jeho tvarování.

Argon (Ar) :

Argon je jednoatomový plyn, bez barvy a zápachu, který je inertní a nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny. Výroba probíhá destilací zkapalněného vzduchu, kde je teplota varu argonu při atmosférickém tlaku 185,8°C. Ve vzduchu je obsaženo 0,934% argonu. Pro svoji malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatíženost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot.

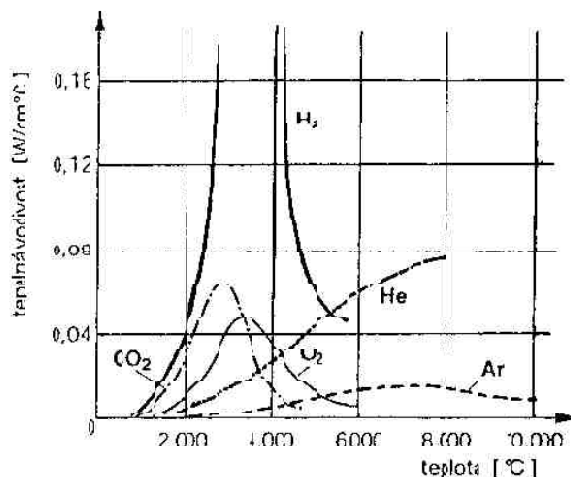
Hustota argonu (1,784 kg.m⁻³) je asi 1,4 krát vyšší než hustota vzduchu a to přispívá k velmi dobré schopnosti plynové ochrany především v poloze PA.

Ochranu argonem lze použít pro všechny svařitelné materiály. Standardně nabízená čistota plynu je označována 4,5 (99,995 %), první číslo 4 – znamená počet devítek a číslo za desetinnou čárkou poslední pátou zvyšující hodnotu čistoty plynu např. : 4,6 = 99,996%, 4,7 = 99,997%, 4,9 = 99,999%. Plyny s vysokou čistotou se používají při svařování materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku jako jsou titan, tantal a zirkon.

Helium (He) :

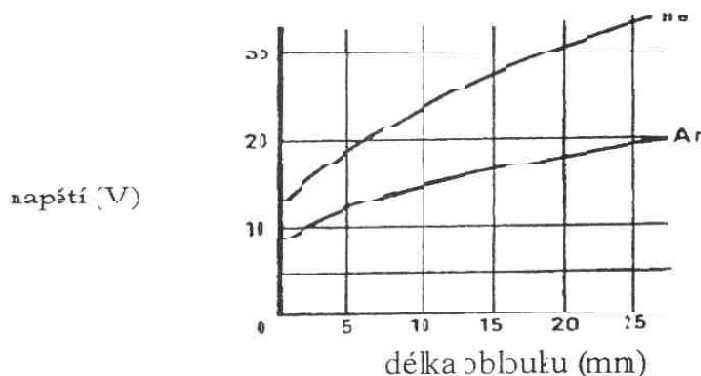
Helium je jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se helium vyskytuje v množství kolem 1%. Helium je velmi lehký plyn s hustotou 0,178 kg.m⁻³ a tato skutečnost snižuje efektivitu plynové ochrany. Pro dokonalou ochranu se zvyšuje průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou min. 4,6 (99,996 %) s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry.

Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon, (obr. 4.14). Ionizační potenciál hélia 24,6 eV je také vyšší než u argonu, a proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce hoření.



Obr. 4.14 Tepelná vodivost komponentů ochranných plynů [1]

Díky vysoké tepelné vodivosti, způsobené výrazně vyšším napětím na oblouku (obr.4.15), je přenos tepla v oblouku velmi vysoký, a proto se směsi s heliem používají pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí větších tloušťek, především hliníku a mědi včetně jejich slitin. Helium je vhodné také pro mechanizované způsoby svařování.



Obr. 4.15 Závislost napětí na druhu ochranného plynu a délce oblouku [1]

Směsi plynů (Ar+He):

Směs argonu a helia tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Nejčastěji se používá kombinace 70% Ar + 30% He, Ar – He 50/50, 30 % Ar + 70% He. Čím větší je obsah hélia, tím vyšší je tepelný výkon oblouku, což se projeví na tvaru a rozměrech svaru. Při použití směsi Ar + He se zvyšuje rychlost svařování, hloubka závaru, nebo lze snižovat přehřev u kovů s vysokou tepelnou vodivostí.

Směsi argonu a hélia se používají především pro svařování mědi a hliníku ručním nebo strojním způsobem.

Směsi argonu a vodíku (Ar+H)

Směs argonu s vodíkem má podobné vlastnosti jako argon s heliem. Vodík zlepšuje díky velmi vysoké tepelné vodivosti energetickou bilanci oblouku. Přídavkem vodíku 2 – 10 % se zlepšuje také čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Vodík se používá pouze pro svařování vysokolegovaných austenitických a austeniticko-feritických CrNi ocelí, nebo niklu a jeho slitin. Při obsahu 10% vodíku se zvyšuje rychlost svařování o 30 – 50% a zlepšuje se hloubka a tvar závaru.

Směs s vodíkem se nesmí používat pro svařování martenzitických i feritických CrNi ocelí. Způsobuje praskavost za studena a pro svařování hliníku a mědi se nesmí používat z důvodu nebezpečí vysoké pórovitosti.

Směsi argonu s dusíkem (Ar+N)

Dusík a vodík jsou dvouatomové plyny, které mají vyšší tepelnou vodivost a přenáší do svarové lázně větší podíl tepla. Obsah dusíku se pohybuje běžně kolem 10% a používá se v oblasti svažování vyšších průvarů.

Formovací plyny pro ochranu kořene svaru

Formovací plyny se používají proti oxidaci kořene svaru a vysokovyhřáté oblasti okolního základního materiálu. Používají se inertní, redukční nebo nereagující se svařovaným materiálem.

Formovací plyny se používají směsi argonu a vodíku (2-10 %) a nebo dusíku (5 – 20%) pro vysokolegované austenitické oceli a niklové slitiny. Z důvodů nebezpečí vzniku trhlin a pórovitostí se vodík nepoužívá pro svařování materiálů Ti, Zr, martenzitické a feritické oceli.

4.5. Oblasti použití metody WIG (TIG) [1]

Metoda svařování WIG/TIG se především používá pro svařování chromniklových ocelí, hliníku, hořčíku, titanu a dalších neželezných kovů. Z důvodů neekonomičnosti a nebezpečí vzniku pórů ve svaru se metoda WIG nepoužívá pro svařování uhlíkových ocelí.

4.5.1.Svařování chromniklových ocelí [1]

Používá se stejnosměrný proud a přímé zapojení (wolframová elektroda na pólu mínus). Jako ochranný plyn je zpravidla používán čistý argon, pro zvýšení rychlosti svařování se používá směs argonu a hélia.

Při svařování Cr/Ni ocelí je potřeba dbát, z hlediska korozivzdornosti, na ochranu plynem. Z tohoto důvodu se používá někdy i druhá plynová tryska, kterou proudí plyn na chladnoucí svarový spoj. Zároveň je potřeba zajistit ochranu svaru ze strany kořene. Při svařování na otevřeném prostranství je třeba dávat pozor na rychlost větru, která by neměla přesáhnout 0,5m/s. Jako přídatný materiál se používá drát podobného složení jako je základní [15].

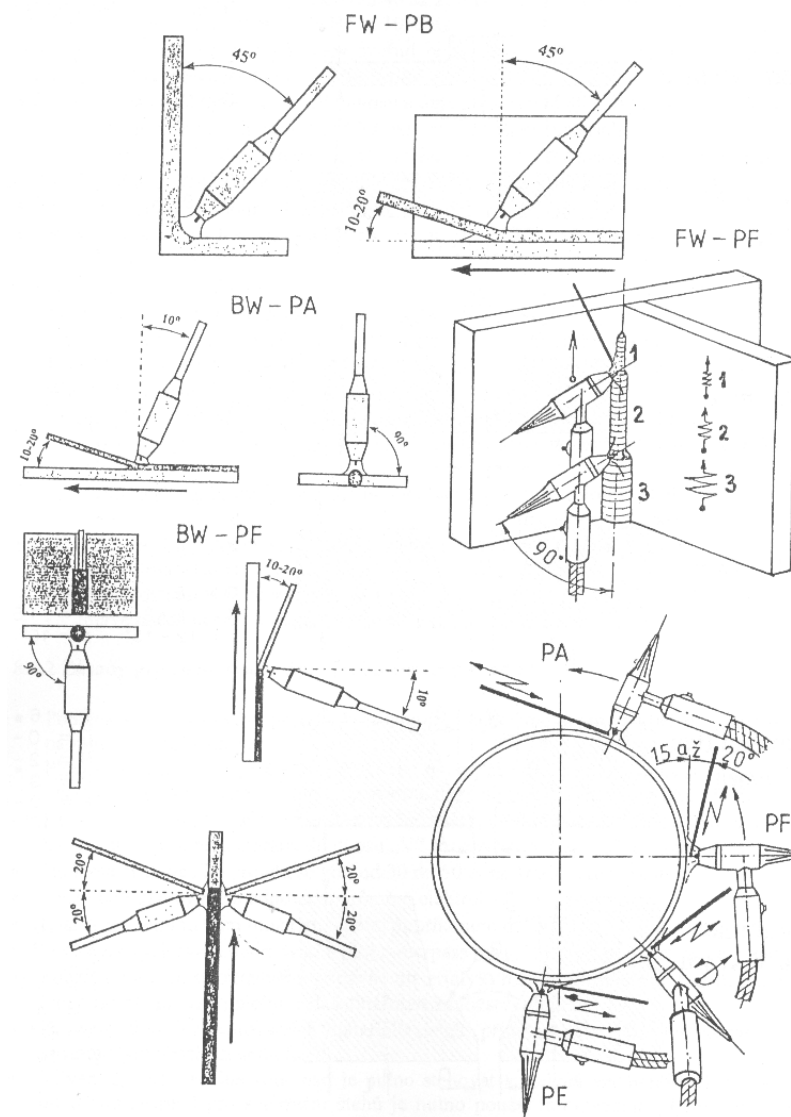
4.5.2.Svařování hliníku a jeho slitin [17]

Největšími problémy při svařování hliníkových materiálů je pórovitost svarů, náchylnost na vznik horkých trhlin ve svarových spojkách, přítomnost oxidické vrstvy na povrchu svařovaných materiálů a její rychlá tvorba během svařování.

Metoda WIG/TIG je velice vhodná a častá pro svařování hliníku a jeho slitin. Používá se střídavý proud s využitím čistícího účinku argonu. Na povrchu hliníku se tvoří vždy vrstva oxidu hlinitého (Al_2O_3), který brání kvalitnímu spojení. Proto při použití střídavého proudu v půlperiodě, kdy na elektrodě je kladný pól, kladné ionty argonu putují od elektrody, dopadají na svařovaný předmět a rozrušují oxidickou vrstvu. Jako důsledek čistícího účinku se kolem svaru objeví světlejší pás od argonových iontů. V druhé půlperiodě, kdy je na wolframové elektrodě minus, se na elektrodě vyvine pouze asi 1/3 tepla. 2/3 tepla jsou využitelné pro tavení materiálu. V této půlperiodě inertní plyn působí jen jako ochrana svaru a elektrody, bez čistícího účinku[17].

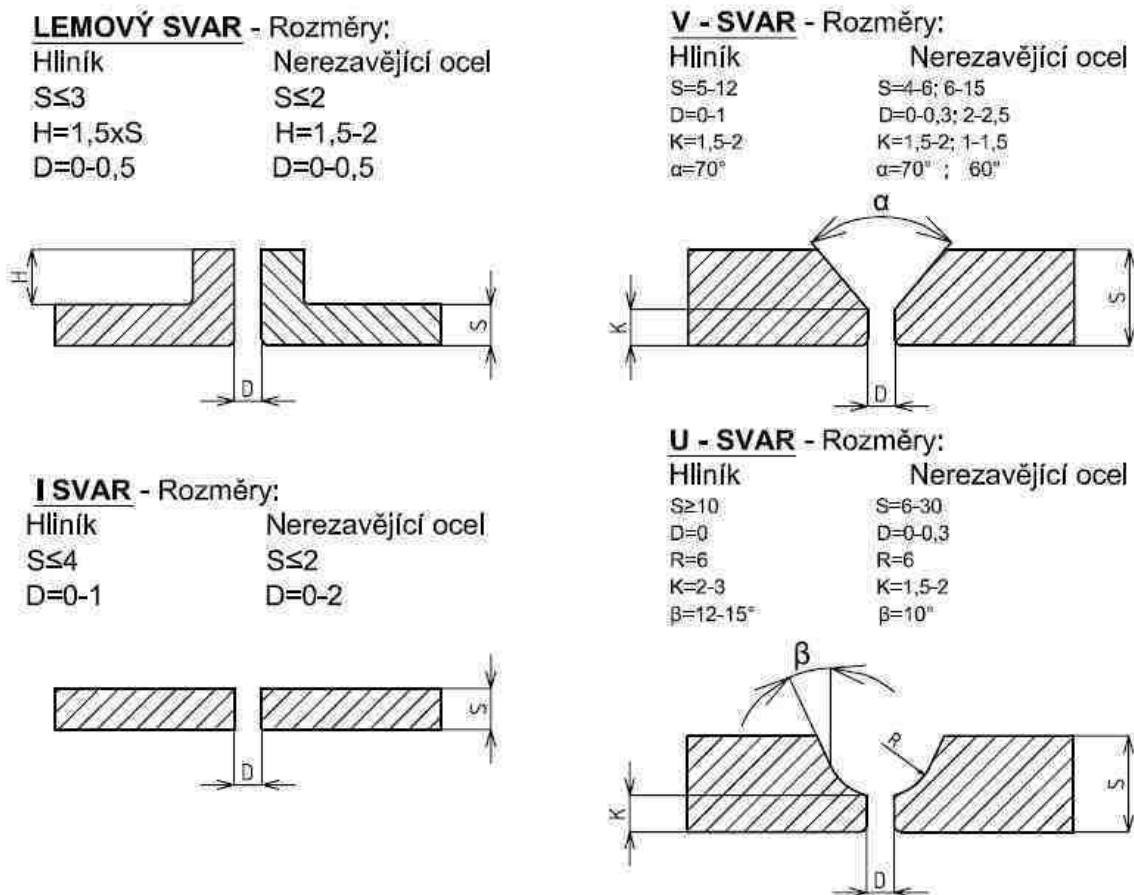
4.5.3. Základní polohy při svařování a příprava svarových ploch pro svařování metodou WIG

Základní svařovací polohy u svařování metodou WIG obr. 4.16.



Obr. 4.16 Základní svařovací polohy u svařování metodou WIG [1]

Předpokladem úspěšného svařování je příprava ploch obr. 4.17, která se řídí především tloušťkou a druhem svařovaných materiálů.



Obr.4.17 Příprava svarových ploch pro svařování metodou WIG [1]

4.5.4. Strojní svařování metodou WIG [1]

Kvalita svaru a ekonomičnost se při použití mechanizovaného a robotizovaného svařování metodou WIG zvyšuje v porovnání s ručním svařováním.

Cílem strojního svařování je :

- zvýšení kvality a užitných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku – kolísání délky oblouku, nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu, kolísání rychlosti svařování, nedostatky plynové ochrany atd.
- zvyšování hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídavných materiálů
- snížit podíl lidské práce při nedostatku kvalifikovaných pracovníků
- zvyšování produktivity
- rozšiřování aplikací na těžkosvařitelné kovy

Strojní svařování se používá pro mechanizované způsoby svařování rovinných svarových spojů z vysokolegovaných ocelí a hliníku do tloušťek asi 5 mm.

Klasické svařování metodou WIG má však ve srovnání s jinými metodami nižší produktivitu, a proto se ve vhodných aplikacích doporučuje výkonnější modifikace :

- svařování zúženým obloukem, zvýšení stability oblouku, použití pro tupé svary do tl. 5 mm
- tandemové svařování WIG – WIG a WIG – MIG, kde přední hořák slouží k přehřevu a zadní pro svařování
- svařování MULTIWIG (multikatoda) je dvou až čtyřoblouková metoda svařování, díky malé vzdálenosti elektrod od základního materiálu se vytváří pouze jedna dlouhá svarová lázeň
- oboustranné svařování vede ke zkrácení doby svařování spoje a eliminuje úhlové deformace svaru
- využití vysokého obsahu vodíku ve směsi s argonem vede ke zvýšení průvaru, rychlosti svařování a životnosti elektrody
- svařování horkým drátem, metoda založená na odporovém přehřevu přiváděného drátu

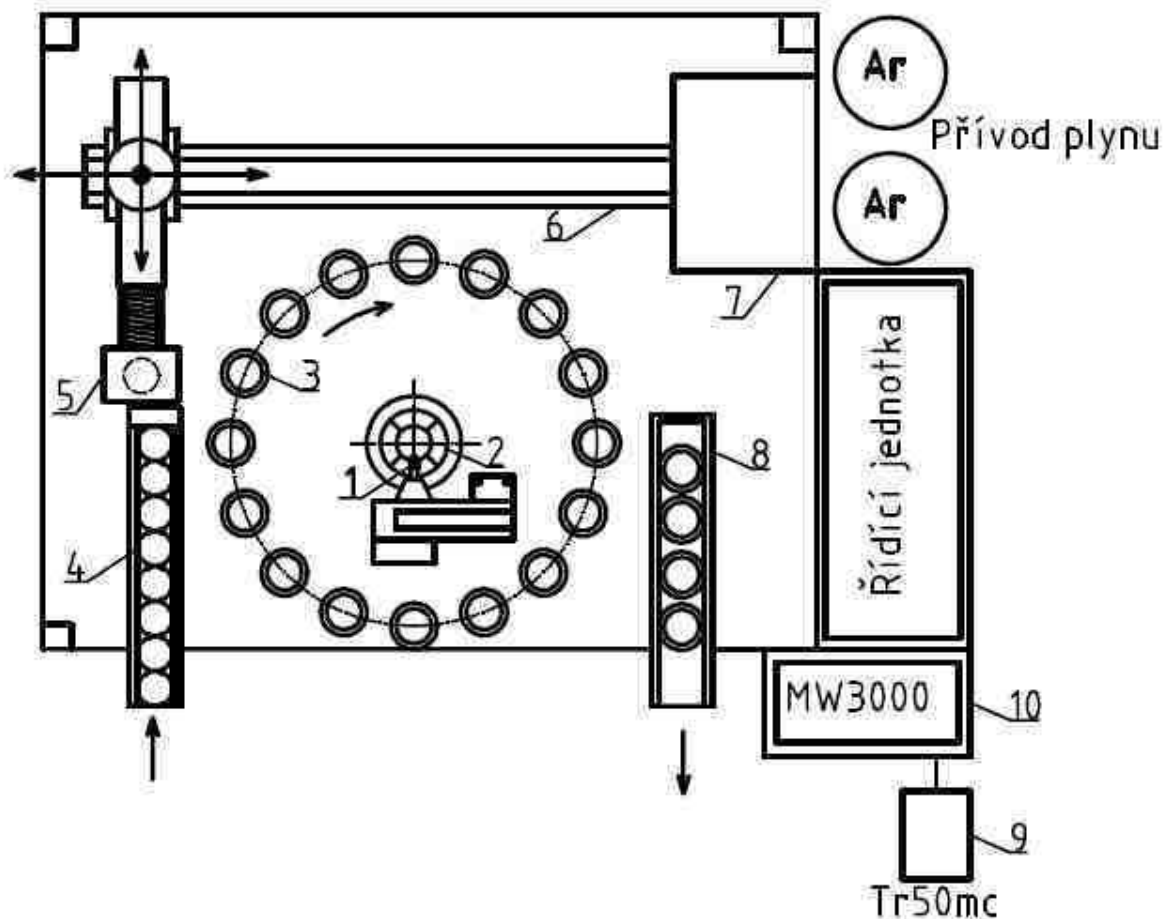
Významné zastoupení má strojní svařování také v oblasti svařování trubek a kombinace trubka – trubkovnice při výrobě tepelných výměníků, kde kromě ručního svařování se používá tzv. orbitálního svařování WIG [1].

5. Stávající technologie

V současné době probíhá svařování hliníkových palivových filtrů bez přídavného materiálu metodou WIG/TIG na mechanizovaném pracovišti za použití svařovacího agregátu firmy Fronius MW 3000 s dálkovým regulátorem Tr50 mc. Mechanizace jako jsou podavače, upínače, vodící lišty, otočný stůl a řídicí jednotka viz. Obr. 5.1, jsou dodané ze sídla firmy Mann+Hummel sídlící ve Spolkové republice Německo a svařovací techniku dodává firma Fronius.

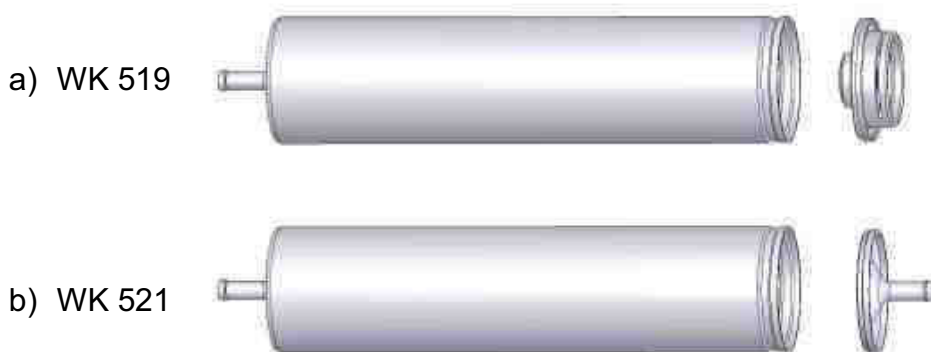
Na mechanizovaném pracovišti se svařují různé druhy palivových filtrů pro použití v automobilovém průmyslu. Nejčastěji však probíhá svařování typů filtrů WK 521 a WK 519 obr. 5.2. Před samotným procesem svařování procházejí těla filtrů vyplňováním papírovou filtrační vložkou. Svařované dílce jsou víka, která se po nalisování navařují na těla filtrů. Nalisování probíhá buď mechanizovaně za pomoci podavače a nebo pomocí dílenského lisu. Z každé série, která má 800-1000 kusů se po svaření vybírá 5 ks na přezkoušení tlakovou zkouškou a hloubku průvaru. Jak tlaková, tak i zkouška na hloubku průvaru jsou zkoušky destruktivními. Další jsou zkoušky těsností filtrů. Těmito zkouškami prochází každý filtr, který projde vizuální kontrolou svaru. Zkouška těsnosti probíhá v nádobě s kapalinou ve které je svařený filtr tlakován na provozní hodnotu tlaku a sleduje se případné vztlínání bublin ze svaru. Prokáže-li se netěsnost svaru vrací se filtr na dodatečné převaření a zkoušky se opakují.

Stávající technologie vykazuje značnou zmetkovitost, která se týká svařované části palivového filtru. Tato diplomová práce, pomocí experimentů a testů, by měla eliminovat vady ve svarech.



Obr. 5.1. Mechanizované pracoviště pro svařování palivových filtrů

1- svařovací hořák WIG, 2 – upínací kleština, 3 – polohovací-pomocné válce, 4 – vodící lišty pro víka filtrů, 5 – přemísťovací rameno, 6 – vedení ramena, 7 – pneumatické rozvody, 8 – chladicí část, 9 – dálkový regulátor Tr 50 mc, 10 – svařovací agregát Fronius 3000 MW.



Obr. 5.2. Typy svařovaných filtrů.

6. Návrh mechanizace a experimentů

Návrh mechanizace a dále odzkoušení možných vlivů, které mohou nastat při svařování palivových filtrů budou voleny tak, aby bylo možné tyto vady při praktickém využití efektivně odstranit. Odstraněním těchto vad a předcházením jejich vzniku, povede ke zvyšování efektivity a ekonomičnosti výroby.

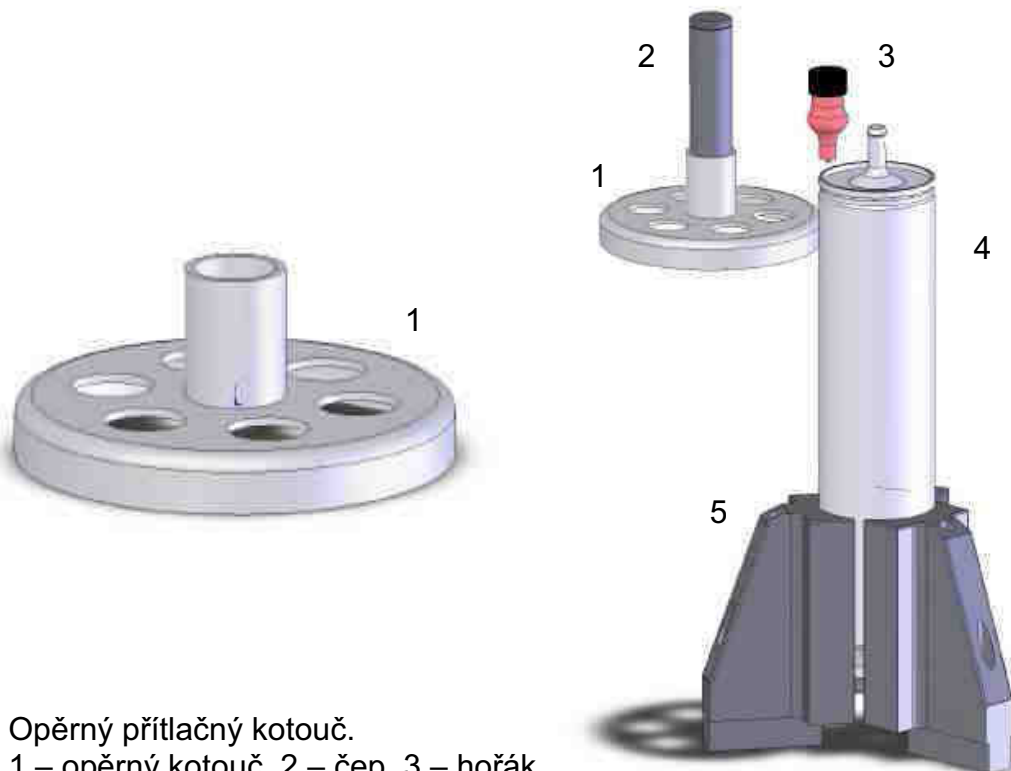
Navržení nové mechanizace za použití stávajícího svařovacího agregátu a optimálních svařovacích podmínek má zamezit případným geometrickým odchylkám, přesněji však odchylkám, které mohou nastat při špatném vedení kolmého směru elektrody ke svařovanému materiálu.

Před navržením technologického postupu se budou provádět experimenty zohledňující možné vlivy, které mohou nastat při svařování, přípravě filtrů, nastavení svařovacích parametrů a chemické čistoty svařovaného materiálu.

6.1. Návrh a řešení mechanizace

Jak již bylo výše napsáno, navržená mechanizace, má napomoci zamezení vyosení upnutého filtru k ose svařování. Řešení je pomocí vložení opěrného přitlačného kotouče na okraj svařovaného filtru viz. (obr. 6.1).

Konstrukčním řešením opěrného kotouče je upnutí na konzolu rovnoběžně se svařovacím hořákem a elektrodou. Místo pro uchycení je již v samé konstrukci stroje.



Obr. 6.1. Opěrný přitlačný kotouč.

1 – opěrný kotouč, 2 – čep, 3 – hořák,
4 – filtr, 5 – upínací čelisti.

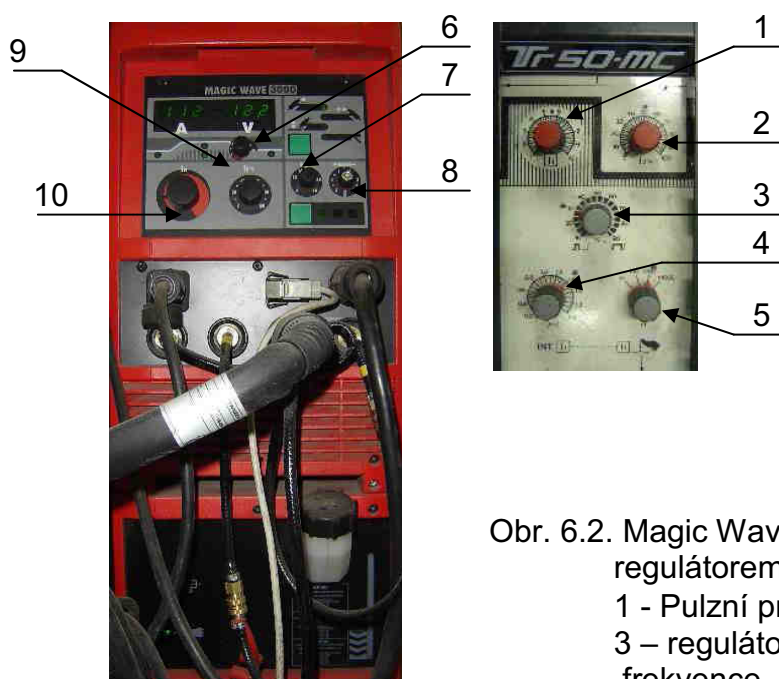
Přítlačný kotouč 1 zajišťuje kolmost upnutého filtru k wolframové elektrodě. Při procesu svařování se upínací čelisti otáčí a přes tělo filtru se přenáší na přítlačný kotouč. Přítlačný kotouč je pevně spojen s čepem, který je uložen v ložiscích konzole svařovacího stroje. Konstrukční řešení viz příloha 1.

6.2. Návrh experimentů

Experimenty jsou zaměřeny na eliminaci vad ve svarech. Při procesu přípravy a svařování palivových filtrů může nastat mnoho faktorů, které znehodnocují svarový spoj. Modelové situace, které mohou nastat při svařování, jako jsou geometrické odchylky, nastavení svařovacích parametrů, čistota svařovaných ploch a v neposlední řadě chemická čistota svařovaného materiálu, budou provedeny přezkoušením a vyhodnocením mezí použitelnosti a funkčnosti svarového spoje.

6.3. Svařovací zdroj a popis funkcí

Pro svařování palivových filtrů je použit svařovací usměrňovač Magic Wave 3000 s dálkovým regulátorem Tr 50 mc (obr.6.2). Usměrňovač je konstruován jako primárně řízený svářecí přístroj, který je vhodný pro svařování metodou WIG pro ruční i automatizované svařování stejnosměrným i střídavým proudem. K přednostem zejména patří minimální rozměry a snížená spotřeba energie. Přístroj je odzkoušen podle normy pro krytí IP 23 což znamená ochranu proti vniknutím cizích těles o průměru menších, než 12 mm a ochranu proti účinkům vody stříkající pod úhlem 60° v úči svislé rovině.



Obr. 6.2. Magic Wave 3000 s dálkovým regulátorem Tr 50 mc.

1 - Pulzní proud I_1 , 2 - základní proud I_2 ,
3 – regulátor Duty-Cycle, 4 – regulátor frekvence, 5 – xf, 6 – regulace napětí, 7 – regulace délky elektrody („přidání na kalotu“), 8 – regulátor balance, 9 – proud závěrného kráteru I_E , 10 – regulace proudu.

Popis jednotlivých funkcí:

Regulátor duty-cycle [%]

Nastavení poměrů pulz-pauza se pomocí tohoto regulátoru nastavuje procentuelním poměrem mezi fází základního(I_2) a pulzního(I_1) proudu viz tab. 6.1.

Tab.6. 1

Příklady nastavení regulátoru duty-cycle			
	Poloha přepínače	Pulzní proud I_1	Základní proud I_2
1.	Poloha na přepínači 10	Krátká fáze pulzního proudu 10%	Dlouhá fáze základního proudu 90%
	Následek: Malý přísun tepla		
2.	Poloha na přepínači 50	Stejná délka I_1 a I_2	
	Následek: střední přísun tepla		
3.	Poloha na přepínači 90	Dlouhá fáze I_1	Krátká fáze I_2
	Následek: maximální přísun tepla		

Regulace základního proudu I_2

Nastavení základního proudu probíhá v procentuelní závislosti na nastavené hodnotě pulzního proudu.

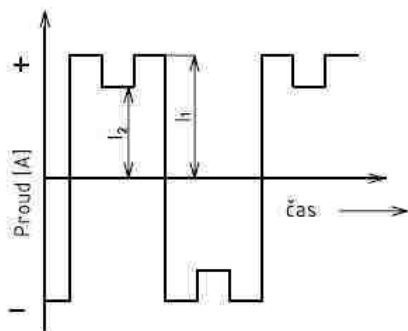
Balanční regulátor

- tato funkce je zapojena pouze při střídavém provozu (AC)
- kladná a záporná půlvlna je možno měnit.
- možnost přizpůsobení danému svářečskému problému (optimalizace poměrů pro čištění a protavení)
- optimalizace tvorby katody

Nastavení:

Poloha +5: Kladné půlvlny jsou delší než záporné = dlouhá čistící fáze, malá hloubka protavení, vyšší zatížení wolframové elektrody-příliš velká katoda.

Poloha -5: Záporné půlvlny jsou delší než kladné = dlouhá fáze protavení, malý čistící účinek, nedostatečné zatížení w.el. – žádná katoda.



Obr. 6.3 Průběh impulzního proudu

Pulzní dálkový regulátor WIG TR 50mc:

Velikost svářecího proudu nastavený na počátku svářecího procesu nemusí být vždy optimální pro celý průběh svařování. Při nastavení nízkého proudu se základní materiál nedostatečně protaví a naopak při přehřátí dojde k odkápnutí tavné lázně.

Poměrně malý svářecí proud I_1 dosáhne strmým vzestupem podstatně vyšší hodnoty (impulsní proud I_1) a po uplynutí nastavené hodnoty na Duty-Cycle klesne pokaždé opět na základní hodnotu základního proudu I_1 .

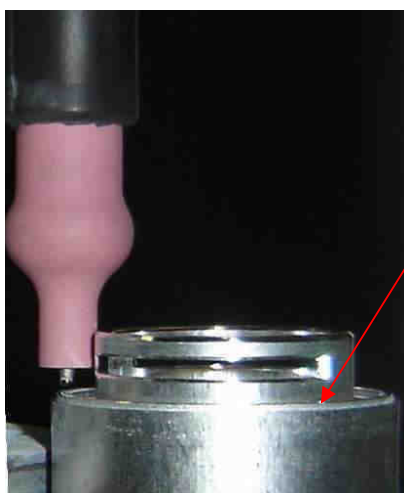
V průběhu svařovacího procesu se rychle protavují malé úseky svaru a opět rychle tuhnou. Tímto způsobem se nechá tvorba stehu ovládat podstatně snadněji. Tato technika se též používá pro svařování tenkých plechů. Tavné body se vzájemně jeden s druhým překrývají a vytvářejí rovnoměrný svarový šev.

7. Vyhotovení experimentů

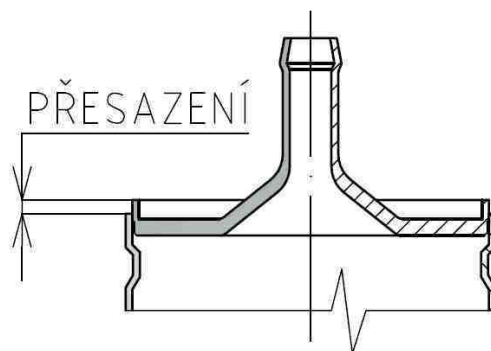
7.1. Přesazení víčka vůči tělu filtru (obr. 7.1)

K přesazení víčka filtru může dojít nejčastěji již při nalisování, které se provádí buď mechanizovaně nebo pomocí upraveného dílenského lisu. U mechanizovaně způsobené vady dojde při nerovnoměrném podtlakovém přichycení víčka z dopravníku na dopravní rameno, které pak s tímto defektem nalisuje víčko do těla filtru. Vinou nepozornosti obsluhy může vzniknout přesah víčka nalisovaného dílenským lisem.

V důsledku velkého přesazení víčka může nastat možnost styku wolframové elektrody se svařovaným materiálem, což následně degraduje tepelnou odolnost elektrody při svařování a z toho plynoucí sníženou životnost s defekty ve svarech.



Přesah



Obr. 7.1 Přesazení víčka

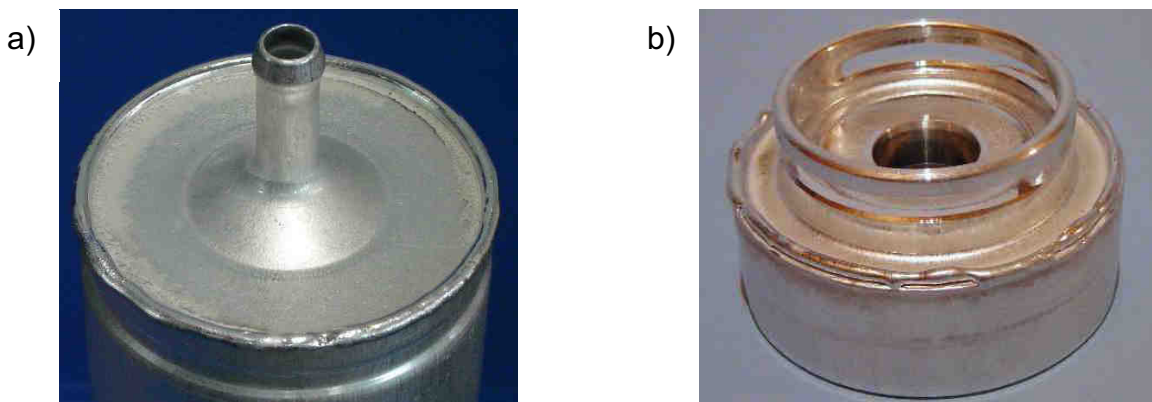
Přesazení bylo provedeno a odzkoušeno na 4 vzorcích s nastavením svařovacích parametrů viz (tab. 7.1).

Tab.7. 1

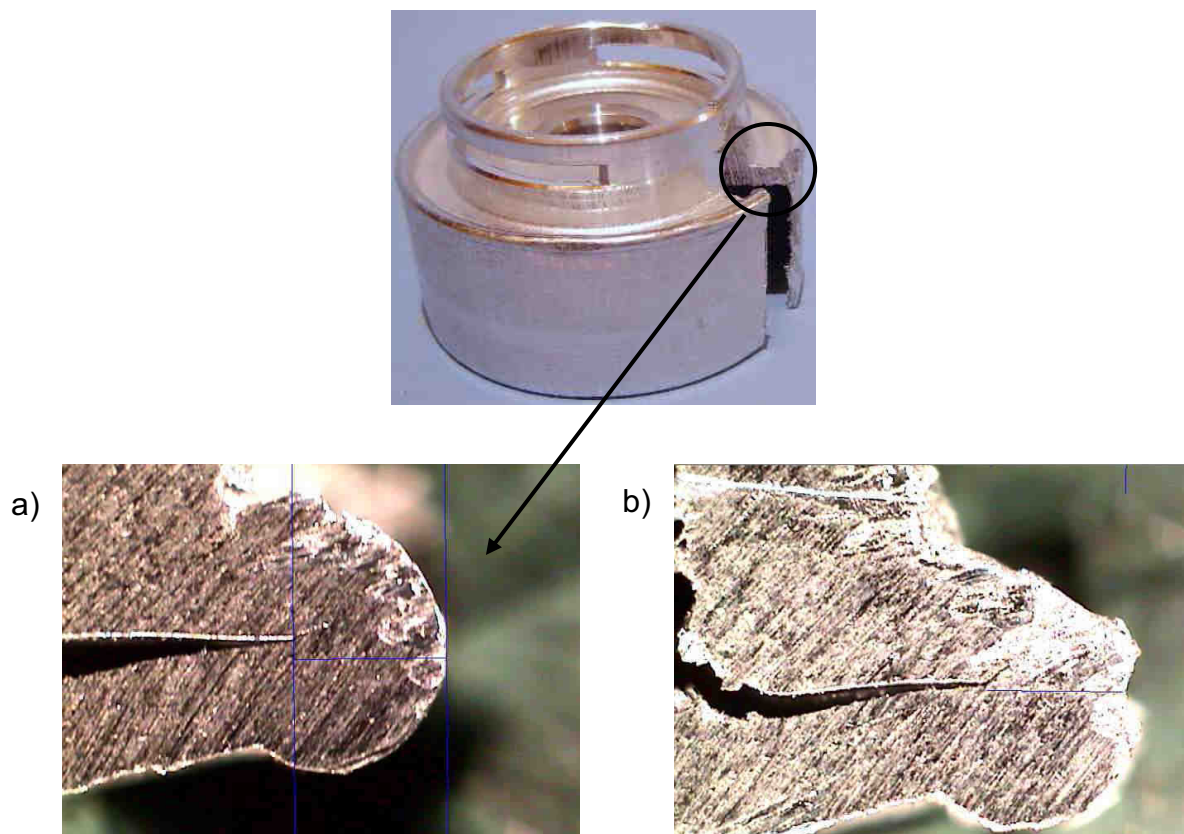
Nastavené parametry svařování a hodnoty přesazení MW 3000, TR 50-mc, wolframová elektroda – Green-W 3,2x175 mm, inertní plyn Argon 4,5 (99,995%)						
Vzorek		1	2	3	4	
Hodnota přesahu	[mm]	1,2	1,5	2,0	2,6	
Proud	[A]	112	112	112	122	
Napětí	[V]	14,3	13,8	13,8	13,8	
Vzdálenost elektrody	[mm]	1±0,1	1±0,1	1±0,1	1±0,1	
Průtok plynu	[l/min]	15	15	14	15	
Proud závěrného kráteru I_E	[%]	37	37	37	37	
Nastavení kaloty	[-]	1,7	1,7	1,7	1,8	
Balance	[+][-]	-1	-1	-1	-1	
Impulzní proud I_1	[-*]	6,1	6,1	6,1	6,1	
Základní proud I_2	[%]	50	50	50	50	
Regulátor Duty-Cycle	[%]	30	30	30	30	
Frekvence	[Hz]	1,4	1,4	1,4	1,4	
xř	[-]	x100	x100	x100	x100	

* jedná se o nastavení v počtu dílků na dálkovém regulátoru Tr 50-mc

Po svaření nejprve vzorky procházejí vizuální kontrolou, po které se dále vyhodnotí kvalita svaru (viditelné vady, jako jsou povrchové vady, neprovaření, celistvost svaru atd.). Při zkoušce přesazení víčka vizuálně nevyhovovaly víčka 3 a 4 (2 a 2,6 mm) obr. 7.2. U vzorků 1 a 2 (1,2 a 1,5 mm) se kontrolovala hloubka průvaru, která se vyhodnocovala na mikroskopu VIS-550. Tolerance hloubky závaru je firmou Mann+Hummel určena: min. hloubka průvaru = 0,7 . tl_{MAT} = 0,7 mm, (obr. 7.3).

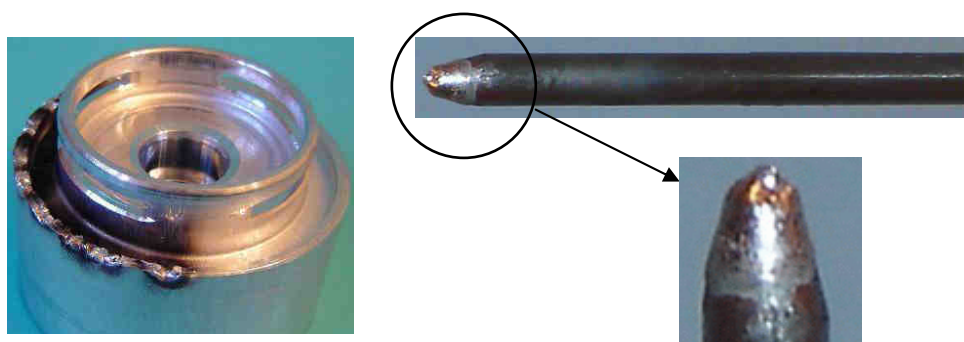


Obr. 7.2 Přesahy víček a) 2 mm, b) 2,6 mm.

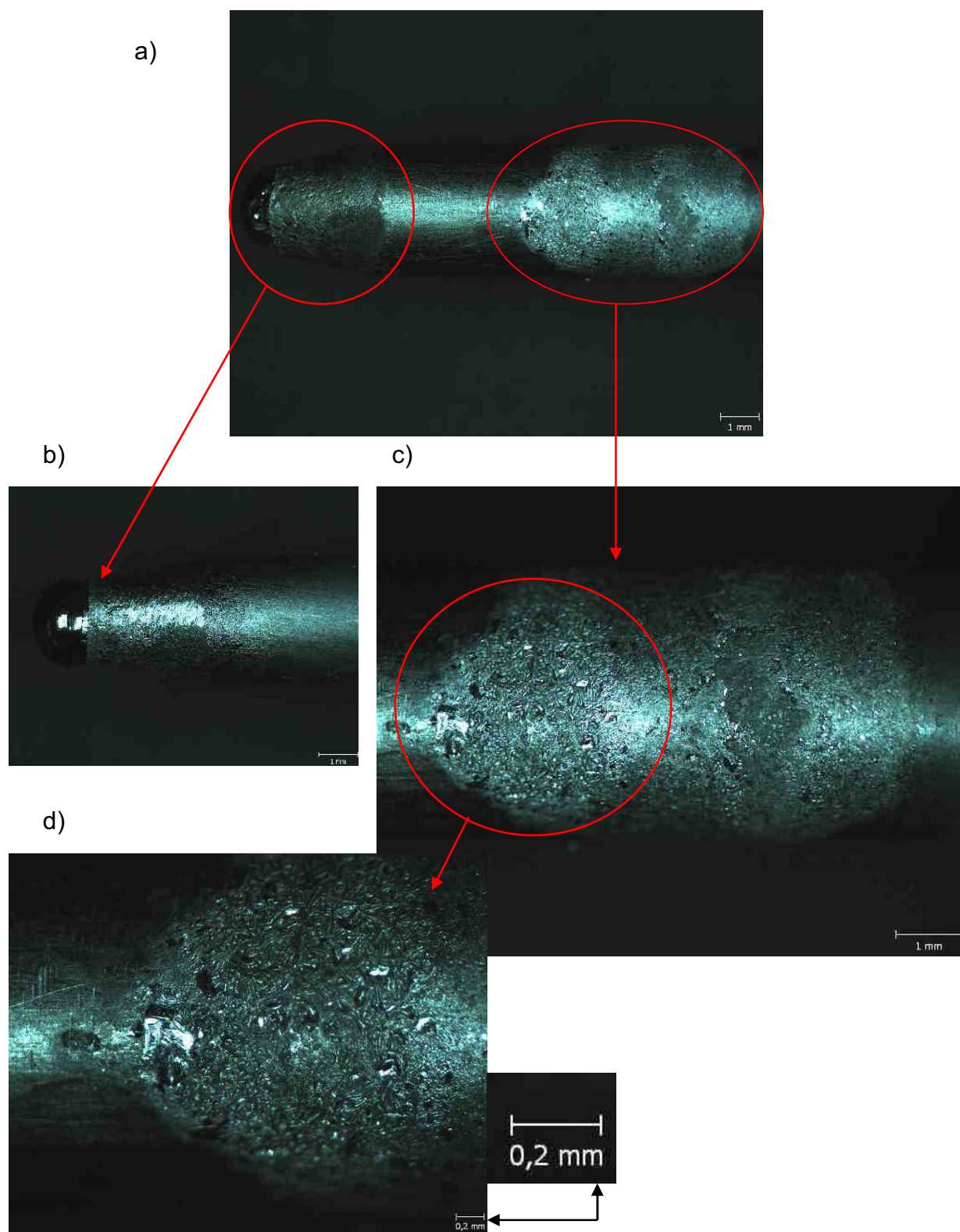


Obr. 7.3. Vyhodnocení hloubky průvaru a) 1,63mm , b) 1,45 mm

Jak bylo uvedeno výše, velký přesah může způsobit dotyk wolframové elektrody se základním materiálem. Dotyk způsobí znehodnocení svaru a elektrody obr. 7.4. Elektroda je focená těsně po svařování, na místě kaloty je vidět natavený hliník z filtru. Následně byla opět upnuta do svařovacího hořáku a znovu použita v běžném provozu. Na obr.7.5 je vidět hliník, který se dostal 15 mm od hrotu elektrody. Tyto fotografie byly pořízeny na stereolupě Olympus 6x71.



Obr.7.4. Filtr a elektroda těsně po svaření



Obr. 7.5 Degradovaná wolframová elektroda hliníkem.

Z elektrody byly odebrány 2 vzorky (obr. 7.7 a obr.7.8) na metalografické výbrusy. Vzorek č.1 byl vybrán ze středu skvrny a vzorek č.2 na porovnání, byl brán z nezasazeného místa na téže elektrodě. Řezy byly provedeny napříč elektrodou.

Příprava vzorků:

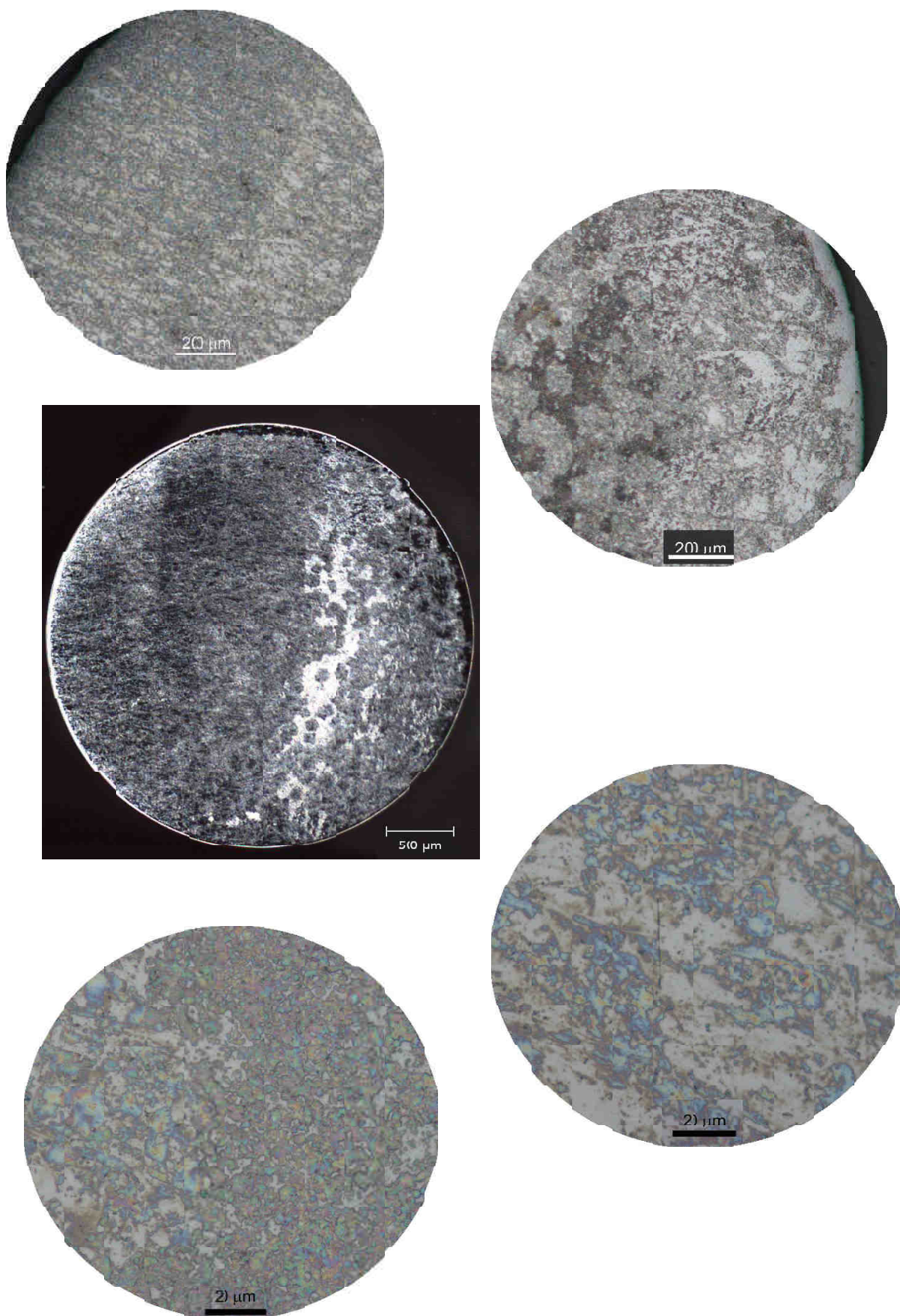
- 1) Nařezání vzorků proběhlo na rozbrušovací pile pro broušení za mokra Discotom – 5, Sruers.
- 2) Zalisování (vypreparování) vzorků metodou lisování za tepla na přístroji Labopress – 3, Sruers při tlaku 20 kN, teplota 180°C po dobu 6 min. a 3 min. probíhalo chlazení. Vzorek byl zalisován do průhledné lisovací hmoty.
- 3) Broušení a leštění na přístroji Pedemin Dap – 7, Struers.
Použitý brusný papír 280, 400, 600, 1200 a 2400 μm za intenzivního chlazení vodou.
Leštění – 3 μm diamantová pasta – růžové smáčedlo, po dobu 7 min.
Chemické leštění Opechem, emulzní pasta OPU.
Leptání, oplach.
- 4) zobrazení – stereolupa Olympus 6x71, mikroskop Olympus PMG 3.



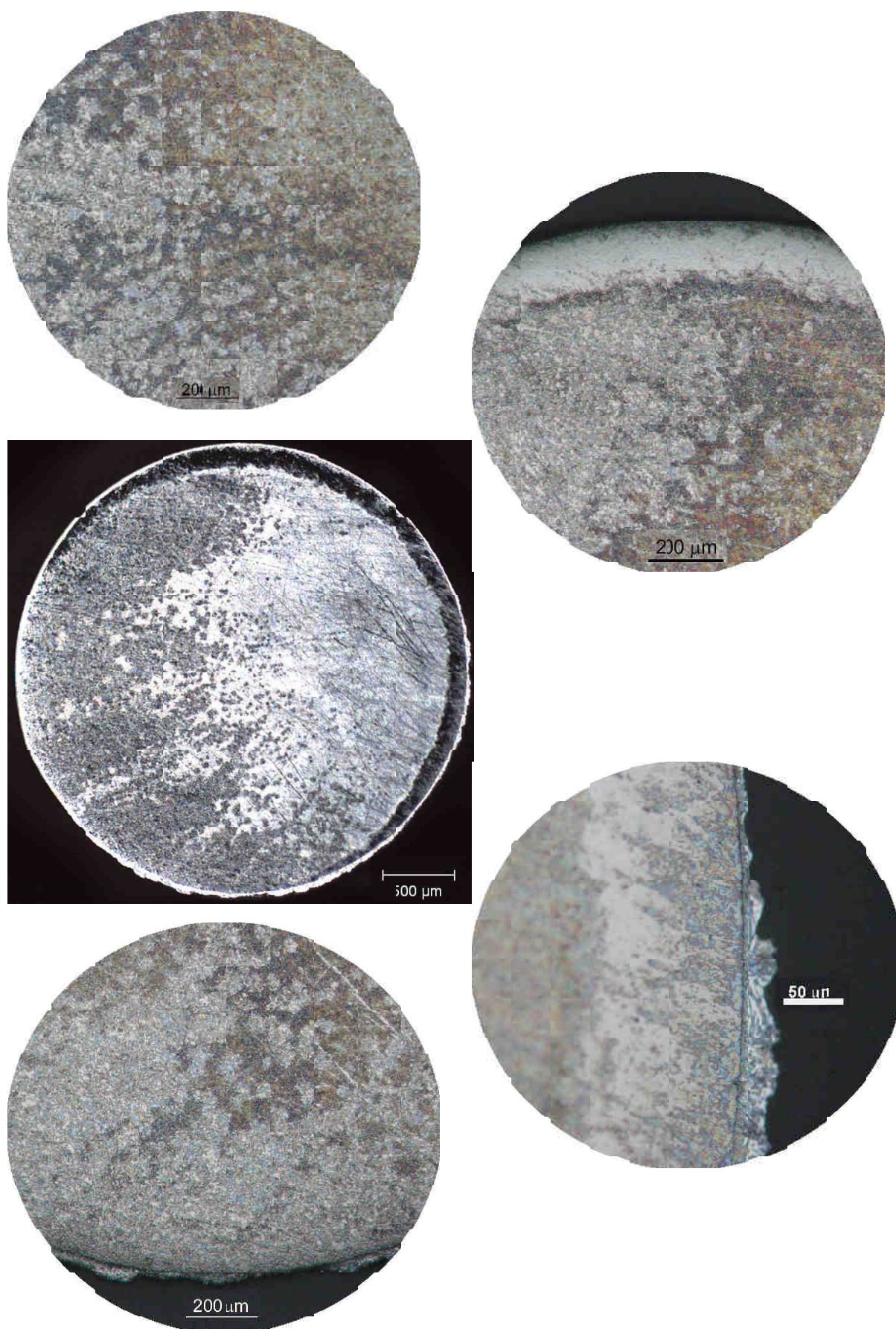
Obr. 7.6 Místa odebrání vzorků.

Metalografické výbrusy vzorků (obr. 7.7, obr. 7.8) ukazují v porovnání vzorků 1 a 2 změnu struktury ve wolframové elektrodě. U vzorku č.2 (téměř nezasazená část elektrody) je vidět heterogenní struktura tuhého roztoku wolframu s určitým množstvím nadifundovaného hliníku. Okrajový tmavý pás vzorku č.1 znázorňuje hloubku skvrny vzniklé po styku elektrody se základním materiálem a světlá místa ukazují hloubku nadifundovaného hliníku směrem do středu elektrody.

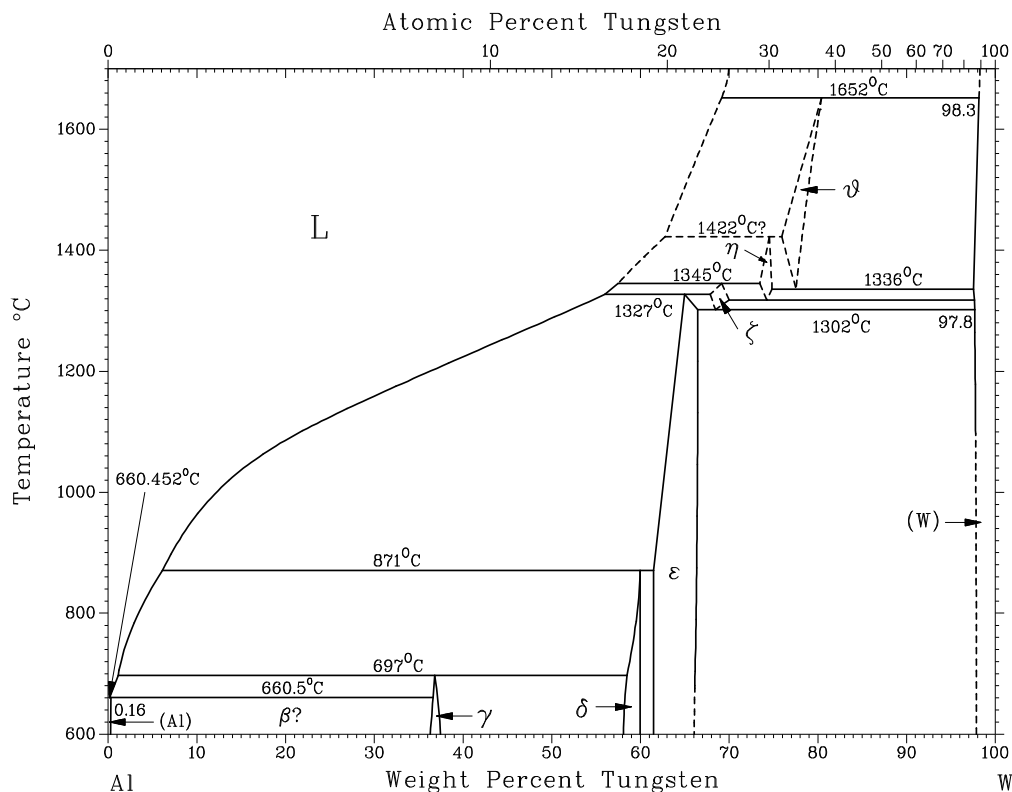
Z rovnovážného binárního diagramu Al – W (obr.7.9) můžeme usoudit, že nadifundovaný hliník již při nepatrné koncentraci může snížit tepelnou odolnost wolframové elektrody.



Obr. 7.7 Řez č.2 wolframovou elektrodou v nezasažené části



Obr. 7.8 Řez č.1 vedený skvrnou na wolframové elektrodě



Obr.7.9 Rovnovážný binární diagram Al-W

Vyhodnocení experimentu :

Experiment byl zaměřen na přesazení víčka k tělu filtru. Přesahy byly zvoleny 1.2, 1.5, 2 a 2.6 mm. Tyto odchylky měly simulovat možné případy, které mohou nastat ve výrobě a podílet se tak na zvyšování zmetkovitosti.

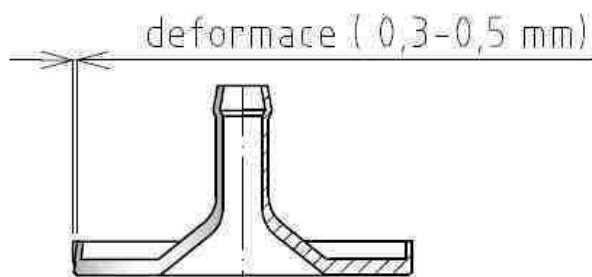
Přesazení víčka o 1.2 mm ukazovalo, že hloubka závaru byla ještě v souladu s danou hloubkou (0,7 mm). U hodnoty přesazení 1.6 mm byla hloubka závaru také splněna, ale s přihlédnutím na nastavené svařovací parametry. U základního nastavení může dojít k lokálnímu neprovaření víka a těla filtru. Tento problém lze vyřešit snížením svařovací rychlosti současně se zvýšením hodnoty balance na -2, což by znamenalo snížení čistícího efektu, ale také navýšení fáze protavení. Tento způsob nastavení není optimální z hlediska zpomalení výroby. Při optimální svařovací rychlosti $0,019 \text{ m.s}^{-1}$ je doba svařování 9,3 s/ks. Kdyby se snížila rychlost na $0,015 \text{ m.s}^{-1}$, zvýšila by se doba svařování na 12,01 s/ks. Znamenalo by to prodloužení doby svařování o 2,71 s/ks tzn. při sérii 1000 kusů 45 min. Výsledek naznačuje, že hodnoty nastavení svařovacích parametrů pro předcházení vady přesazení víka o 1,6 mm nejsou vyhovující pro optimální výrobu.

Velké přesazení také může způsobit dotyk wolframové elektrody se základním materiálem. Důsledkem tohoto dotyku je nalegování elektrody hliníkem a snížení její tepelné odolnosti, snížení kvality zapálení oblouku (možné vady při zápalu) a v neposlední řadě snížení životnosti.

7.2. Deformace víčka filtru (obr. 7.10)

Deformace víčka filtru byla provedena po obvodu tak, že mezery po deformaci měly mezi víčkem a tělem filtru 0,3 – 1 mm.

K deformacím může dojít při neopatrné manipulaci víčka v přípravném procesu před svařováním.

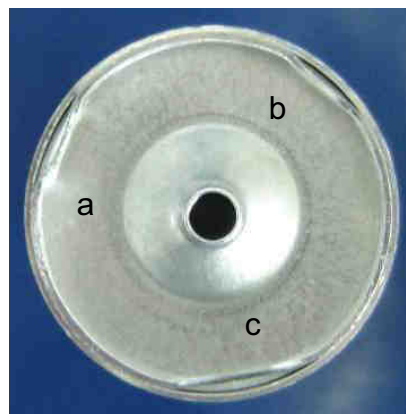


Obr. 7.10 Deformace víčka.

Byly provedeny dva vzorky deformovaného víčka. Vzorek č.1 obr. 7.11 byl deformován bodově po obvodu s velikostí 0,7 a 1,5 mm a následně byl svařen. Nastavené svařovací parametry jsou uvedeny v (tab.7.2). Vzorek č.2 byl deformován po obvodu obr.7.12 s velikostí deformace a) 0,8 mm, b) 1 mm, c) 2 mm. Tato deformace sahala až ke kořenu spojovaných součástí.



Obr. 7.11Vzorek č.1,deformace víčka.



Obr. 7.12Vzorek č.2,deformace víčka.

Tab. 7.2 Nastavené svařovací parametry

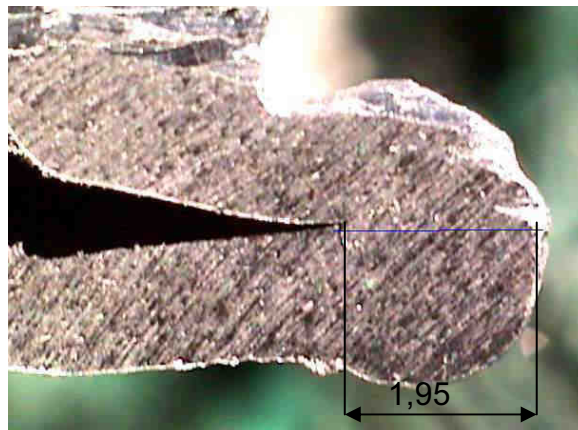
Deformace víčka MW 3000, TR 50-mc, wolframová elektroda – Green-W 3,2x175 mm, inertní plyn Argon 4,5 (99,995%)			
Proud	[A]		112
Napětí	[V]		14,3
Vzdálenost elektrody	[mm]		1±0,1
Průtok plynu	[l/min]		15
Proud závěrného kráteru I _E	[%]		37
Nastavení kaloty	[-]		1,7
Balance	[+][-]		-1
Impulzní proud I ₁	[-*]		6,1
Základní proud I ₂	[%]		50
Regulátor Duty-Cycle	[%]		30
Frekvence	[Hz]		1,4
xf	[-]		x100

* nastavení impulzního proudu je pomocí počtu dílků na regulátoru Tr 50mc

Po svaření prošly vzorky vizuální kontrolou. Vzorek č.1 (obr. 7.13) má svarový šev podle předpisů (bez viditelných vad, nerovností). Poté byl přezkoušen na hloubku svaru v deformované části obr. 7.14. Vyhodnocení hloubky svaru bylo provedeno na mikroskopu VIS-550. Hloubka průvaru měla hodnotu 1,95 mm, což je hodnota, která splňuje požadavek $0,7 \cdot t_{\text{MAT}} = 0,7 \text{ mm}$.



Obr. 7.13 Vzorek č.1, deformace víčka.



Obr. 7.14 Hloubka svaru vzorku č.1.

Vizuálním hodnocením vzorku č.2 (obr. 7.15) po svaření bylo zřejmé, že nejde o kus, který by se dal uznat shodným. Takový filtr se okamžitě vyřazuje a vrací na recyklaci.



Obr. 7.15 Vzorek č. 2, deformace víčka od kořene spojovaných dílů.

Vyhodnocení experimentu :

Tento experiment byl zaměřen na deformaci víčka. Deformací vznikla mezera, která ovlivňuje kvalitu svaru. U provedených vzorků č.1 a č.2 se vyhodnocovala vizuální kontrola a u vzorku č.1 se testoval svar na hloubku, druhý ze vzorků neobstál při vizuální kontrole.

Hloubka průvaru u vzorku č.1 byla 1,95 mm, což plně vyhovuje předepsané hodnotě 0,7 mm. Deformovaný vzorek měl podobu předpisového svaru. Dopomohla tomu deformace, která nezasahovala až na kořen spojovaných součástí a neměla tak ostré vyhnutí lemu víčka směrem od těla filtru, jako tomu bylo u vzorku č.2.

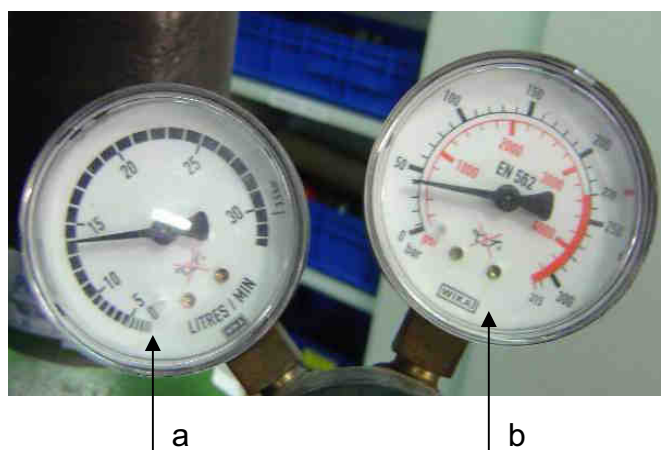
7.3. Nastavení svařovacích parametrů a jejich vlivy na kvalitu svaru

Nastavení svařovacích parametrů je velice důležitá operace před a během svařování, která ovlivňuje kvalitu svarového spoje.

Experiment se zejména zaměřil na nastavení průtoku plynu a balančního regulátoru v kombinaci s nastavením svařovacího proudu a napětí.

7.3.1. Nastavení průtoku plynu

Nastavení průtoku plynu se provádí na průtokovém ventilu přímo na nádobě s plynem obr. 7.16. Tento experiment má určit optimální průtoky plynu s přihlédnutím na ekonomičnost svařování a kvalitu svaru. U svarů se vyhodnocovala vizuální a tlaková zkouška.



Obr. 7.16 Regulátor průtoku a tlaku plynu, a) ukazatel průtoku plynu, b) ukazatel tlaku plynu.

Testovaly se průtoky 0, 7, 14, 25 l/min. Tyto hodnoty průtoku plynu byly zvoleny z mezních hodnot 7 a 25 l/min a středních hodnot pohybujících se okolo 14 l/min. Hodnota průtoku 0 l/min může nastat při situaci, kdy dojde plyn, obsluha svařovacího pracoviště neotevře ventil přívodu plynu před započítáním svařování anebo po průběžném seřízení agregátu se dostatečně nevytlačí vzduchové bubliny ze svařovacího hořáku. Další nastavení svařovacích parametrů jako základní proud, napětí, balance, duty - cycle byly hodnoty, které se neměnily vůči změnám průtoku plynu viz. (tab. 7.3).

Tab. 7.3 Nastavené parametry při průtoku plynu

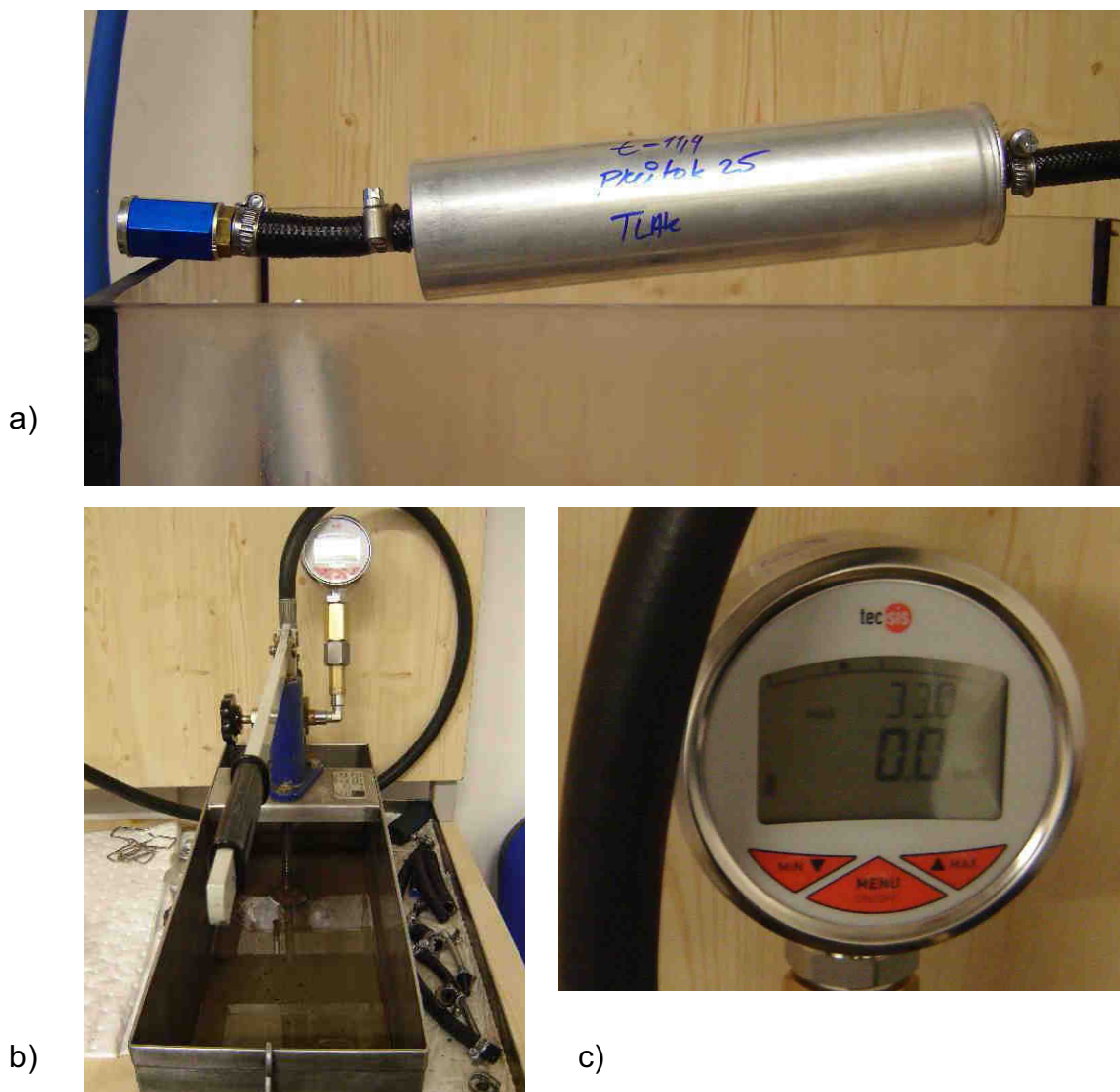
Průtok plynu MW 3000, TR 50-mc, wolframová elektroda – Green-W 3,2x175 mm, inertní plyn Argon 4,5 (99,995%)					
1	Průtok plynu	[l/min]	7	17	25
2	Proud	[A]	112	112	112
3	Napětí	[V]	14,3	14,3	14,3
4	Vzdálenost elektrody	[mm]	1±0,1	1±0,1	1±0,1
5	Proud závěrného kráteru I_E	[%]	37	37	37
6	Nastavení kaloty	[-]	1,7	1,7	1,7
7	Balance	[+][-]	-1	-1	-1
8	Impulzní proud I_1	[-*]	6,1	6,1	6,1
9	Základní proud I_2	[%]	50	50	50
10	Regulátor Duty-Cycle	[%]	30	30	30
11	Frekvence	[Hz]	1,4	1,4	1,4
12	xf	[-]	x100	x100	x100
13					

* nastavení impulzního proudu je odečítáno z počtu dílků na regulátoru Tr 50mc

Při různých průtocích plynu se mění tvar svarové části (obr. 7.17). Filtry po svaření prošly vizuální kontrolou a průtoky 7 a 17 l/min v této kontrole obstály. Filtř svařený za průtoku plynu 25 l/min byl podroben tlakové zkoušce (obr. 7.18).



Obr. 7.17 Tvary svaru při různých průtocích plynu.

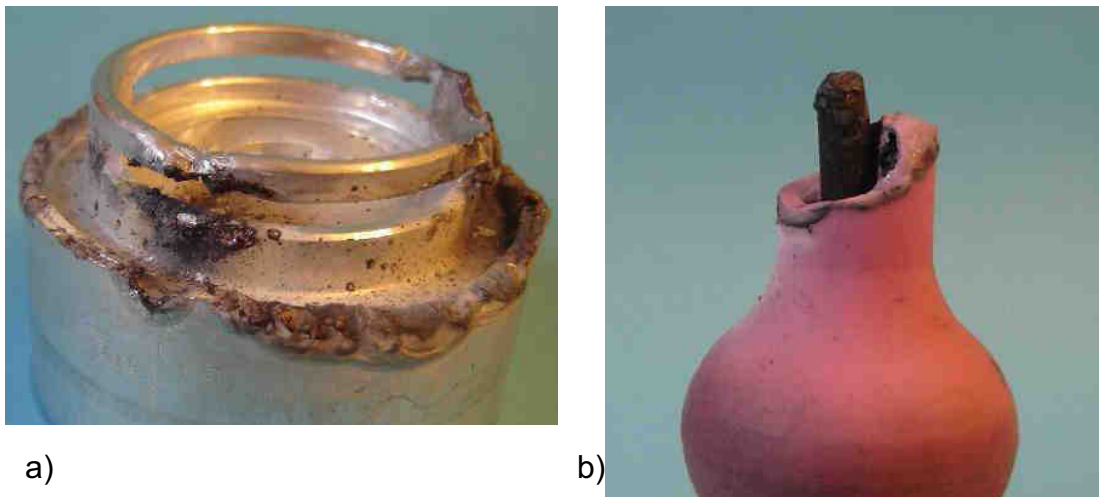


Obr. 7.18 Tlaková zkouška filtru svařeného za průtoku plynu 25 l/min.

- a) zapojení svařeného filtru do tlakového okruhu
- b) tlakovač se zásobníkem na kapalinu a barometrem
- c) barometr, který zobrazuje okamžitou a maximální hodnotu tlaku

Tlaková zkouška byla provedena na pracovišti ve firmě Mann+Hummel. Zkušební filtr byl tlakován leteckým benzínem o hustotě $\rho = 803,1 \text{ kg/m}^3$ a teplotě 25°C . Tlakování zkušebního filtru probíhalo do doby porušení svarového spoje. Minimální tlak určený pro tuto zkoušku činí 30 bar. (3,0 MPa). U testovaného filtru byla naměřena hodnota 33 barů (3,3 MPa). Při porovnání se zkouškami, které se prováděly u namátkově vybraných filtrů během výroby za ideálních podmínek svařování, měly hodnotu tlakové odolnosti mezi 40-50 bary. Tento fakt ukazuje na snížení tlakové odolnosti svarového spoje.

Když neproudí ochranný plyn, dochází k znehodnocení svařovaného filtru, wolframové elektrody a keramické trysky (obr. 7.19).



Obr. 7.19 Znehodnocení svařovaného filtru (a), znehodnocení wolframové elektrody a keramické trysky (b).

Vyhodnocení experimentu :

Nastavené průtoky byly 0, 7, 17, 25 l/min. Při průtoku 7 l/min je použití filtru s minimální oxidickou vrstvou Al_2O_3 a dalších nečistot dostačující pro svařování s tímto průtokem. Z hlediska úspory plynu je to nejvýhodnější varianta s přihlédnutím na zmiňovaný čistící účinek, který se snižuje.

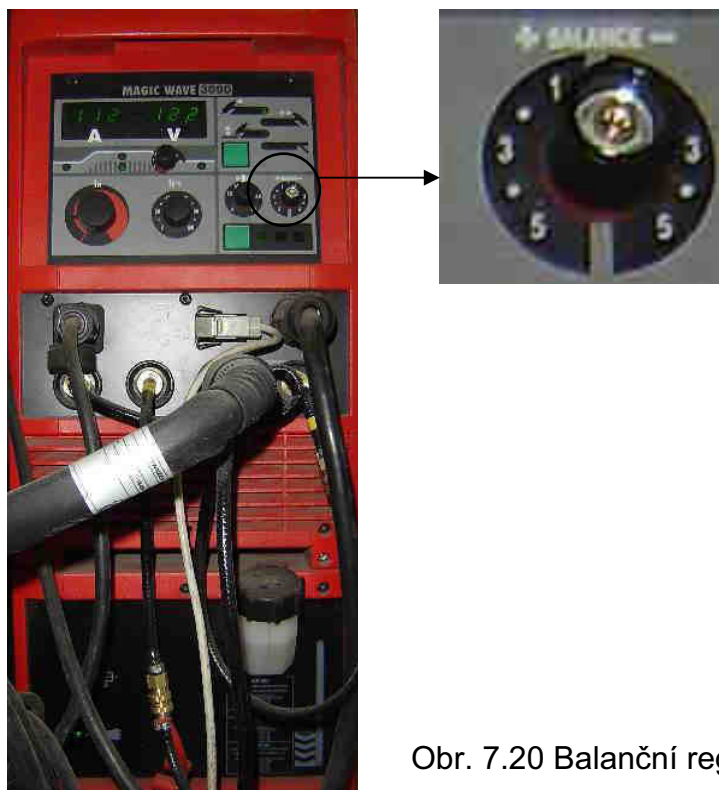
Průtok mezi 14 – 17 l/min je ideální na mírně znečištěné svařované plochy. Čistící efekt spolu s nastavením balance +1 je dobrý i z hlediska úspory ochranného plynu.

Průtok plynu 25 l/min se v tomto případě z ekonomického hlediska nepoužívá. Svařovaná plocha a rychlost svařování jsou na tento průtok příliš nízké. Průtok 25 l/min se používá v případě vysokých svařovacích rychlostí. Při dané svařovací rychlosti svar nedrží kompaktní tvar a tvoří slabá místa ve spoji. Tato slabá místa snižují tlakovou odolnost svaru, kterou prokázala destruktivní tlaková zkouška.

Dojde-li k nulovému průtoku plynu, dochází k znehodnocení svařovaného filtru a wolframové elektrody, vlivem vysokých teplot i keramické trysky. Tomuto jevu by se mělo předcházet pozornou přípravou svařovacího pracoviště, která zahrnuje včasnou výměnu zásobníků plynu a dostatečně dlouhé profouknutí plynu svařovacím hořákem z důvodu kvalitního odstranění vzduchu.

7.3.2. Nastavení balančního regulátoru

Balanční regulátor se nachází na hlavním nastavovacím panelu svařovacího agregátu obr. 7.20. Možnosti nastavení a funkce již byly popsány v kapitole 6.3.



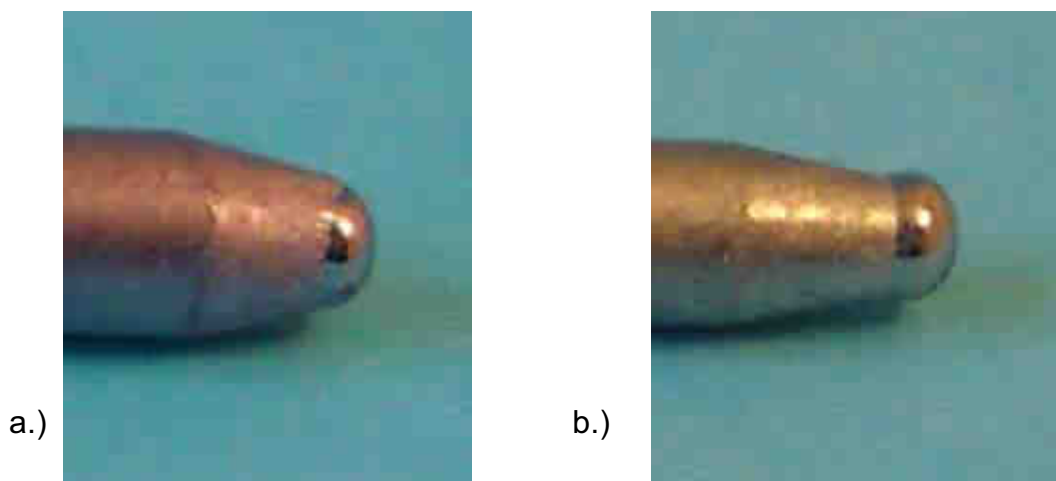
Obr. 7.20 Balanční regulátor.

Nastavení balančního regulátoru ovlivňuje kvalitu svarového spoje a působí na životnost wolframové elektrody. Při experimentu byla nastavená balance na maximální kladnou hodnotu regulátoru +5, přičemž vzniká dlouhá čistící fáze, malé protavení a velké zatížení wolframové elektrody. Výsledek je vidět na (obr. 7.21). Svar je nerovnoměrný způsobený malým účinkem protavení. Tyto nerovnosti mohou způsobit snížení tlakové odolnosti. Světlá místa kolem svaru ukazují výrazný čistící účinek.



Obr. 7.21 Výsledek nastavení balančního regulátoru na hodnotu +5.

Wolframová elektroda při tomto experimentu vykazovala velké tepelné zatížení a tím způsobený úbytek na délce. Nastavení parametrů svařování je znázorněn v (tab. 7.3). Porovnání dvou wolframových elektrod se stejným nastavením svařovacích parametrů, ale rozdílným nastavením balančního regulátoru ukazuje (obr. 7.22). Elektroda na obr. 7.22 a, měla nastavený balanční regulátor na neutrální poloze (0), stejný poměr kladné a záporné pólůviny zatížení, nevýrazně vytvořené kaloty a menší úbytek délky. Na (obr. 7.22 b) je znázorněna elektroda, na které byl nastaven balanční regulátor na hodnotu výrazného čistícího účinku (+5).



Obr. 7.22 Porovnání wolframových elektrod při různém nastavení Balančního regulátoru.

Vyhodnocení experimentu :

Tento experiment byl zaměřen na nastavení balančního regulátoru a jeho vliv na kvalitu svaru. Nastavení balančního regulátoru bylo provedeno pouze do plusových hodnot (velká čistící fáze). Záporné hodnoty (-5, -4) u balančního regulátoru jsou dobré pro velké hloubky protavení a pro případ svařování tenkých lemů. Nebylo třeba provádět experiment s těmito hodnotami.

Hodnota balančního regulátoru +5 s velkou čistící fází a velkou tepelnou zátěží na wolframové elektrodě je vhodná pro silně znečištěné svařované plochy. Spolu s větším průtokem plynu je možno bilanci snižovat směrem k neutrální poloze. Pro životnost wolframové elektrody je nevýhodné, když je balanční regulátor nastaven na maximální hodnotu a průtok plynu je 7 l/min. Při zvýšení průtoku plynu na hodnotu 14 – 17 l/min je možno snížit hodnotu na balančním regulátoru k neutrální poloze (+1). Snižuje se tak zatížení elektrody a čistící účinek je vyhovující.

7.4. Povrchové vlastnosti (oxidace, skladování, prací lázně, oplach a sušení)

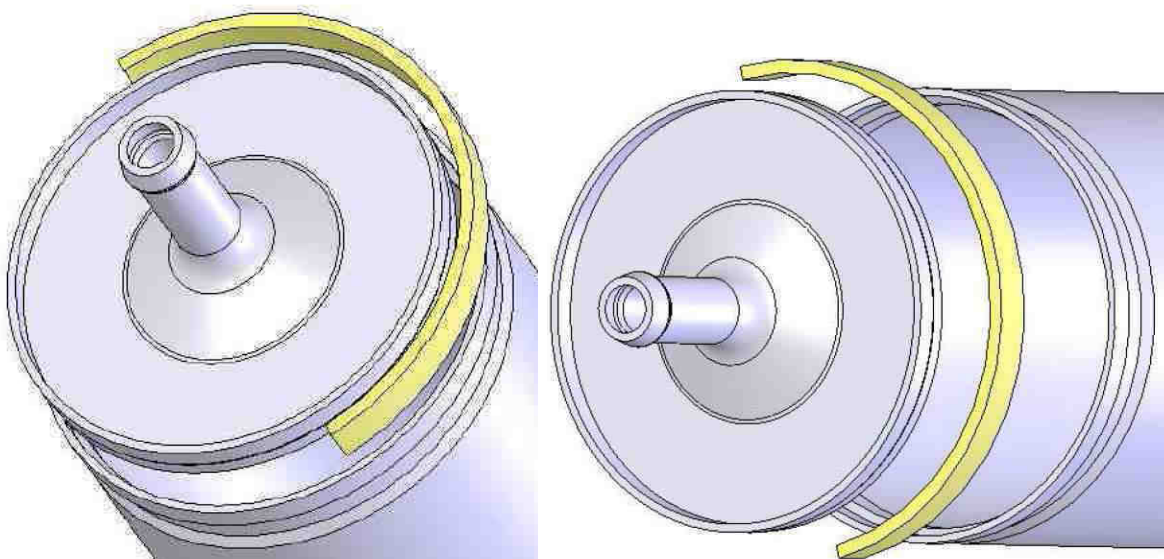
Příprava svarových ploch je jednou z nejdůležitějších operací před samotným svařováním. Na vlivy, které mohou ovlivňovat kvalitu svaru bude zaměřen tento experiment. Zejména se bude jednat o vliv oxidické vrstvy, mastnoty a obecně čistoty svarových ploch při svařování.

U tohoto experimentu byly využity komponenty k filtrům, které byly vyřazeny z výroby z důvodu velké zmetkovitosti. U těchto víček bylo odzkoušeno nastavení svařovacích parametrů v různých kombinacích. Parametry svařování, které byly probrány v kapitole 7.3 se testovaly na filtrech odebraných z dobré série.

Těla a víčka filtrů jsou vyrobeny z hliníku o čistotě 99,5 %. Označení dle normy: ČSN 42 4004, podle evropského číselného značení: EN AW – 1050, chemické značení EN AW – Al 99,5. Rozdělení hliníku a jeho slitin do skupin je bráno podle normy ČSN 05 0323 (resp. ČSN EN 15608). Výroba a čištění polotovarů probíhá u výrobce v Německu, odkud jsou dopravovány do firmy Mann+Hummel, Nová Ves, ČR.

7.4.1. Vliv mastnoty na vlastnosti svaru

Tento experiment, který se zaměřil na vliv mastnoty a její dopad na kvalitu svaru. Aby se předešlo vadám, které nezpůsobí pouze mastnota, byly těla a víčka filtrů brány z dodávky s minimální možností vadných kusů. Testy se prováděly na typu filtru WK 521. Svařovací parametry byly nastaveny podle (tab. 7.4). Znečištění mastnotou proběhlo uměle v rozsahu poloviny obvodové části filtru (obr. 7.23). Zdrojem nečistoty byl olej na údržbu strojů.



Obr. 7.23 Místo znečištění filtru mastnotou.

Tab. 7.4 Nastavené parametry.

Povrchové vlastnosti MW 3000, TR 50-mc, wolframová elektroda – Green-W 3,2x175 mm, inertní plyn Argon 4,5 (99,995%)			
	Proud	[A]	110
	Napětí	[V]	14
	Vzdálenost elektrody	[mm]	1±0,1
	Průtok plynu	[l/min]	17
	Proud závěrného kráteru I_E	[%]	37
	Nastavení kaloty	[-]	1,7
	Balance	[+][-]	-1
	Impulzní proud I_1	[-*]	6,1
	Základní proud I_2	[%*]	50
	Regulátor Duty-Cycle	[%]	30
	Frekvence	[Hz]	1,4
	xf	[-]	x100

* nastavení

impulzního proudu je odečítáno z počtu dílků na regulátoru Tr 50mc

Na (obr. 7.24) je vidět zřetelný vliv znečištěných ploch na vzhled a kvalitu svaru. Jak ukazují metalografické výbrusy (obr. 7.25) ovlivnilo znečištění celý průřez svarového spoje.



Obr. 7.24 Následek znečištěných ploch na kvalitu svaru.

Postup vyhotovení metalografických vzorků :

Vzorky byly připraveny na rozbrušovací pile pro broušení za mokra Discotom – 5, Sruers.

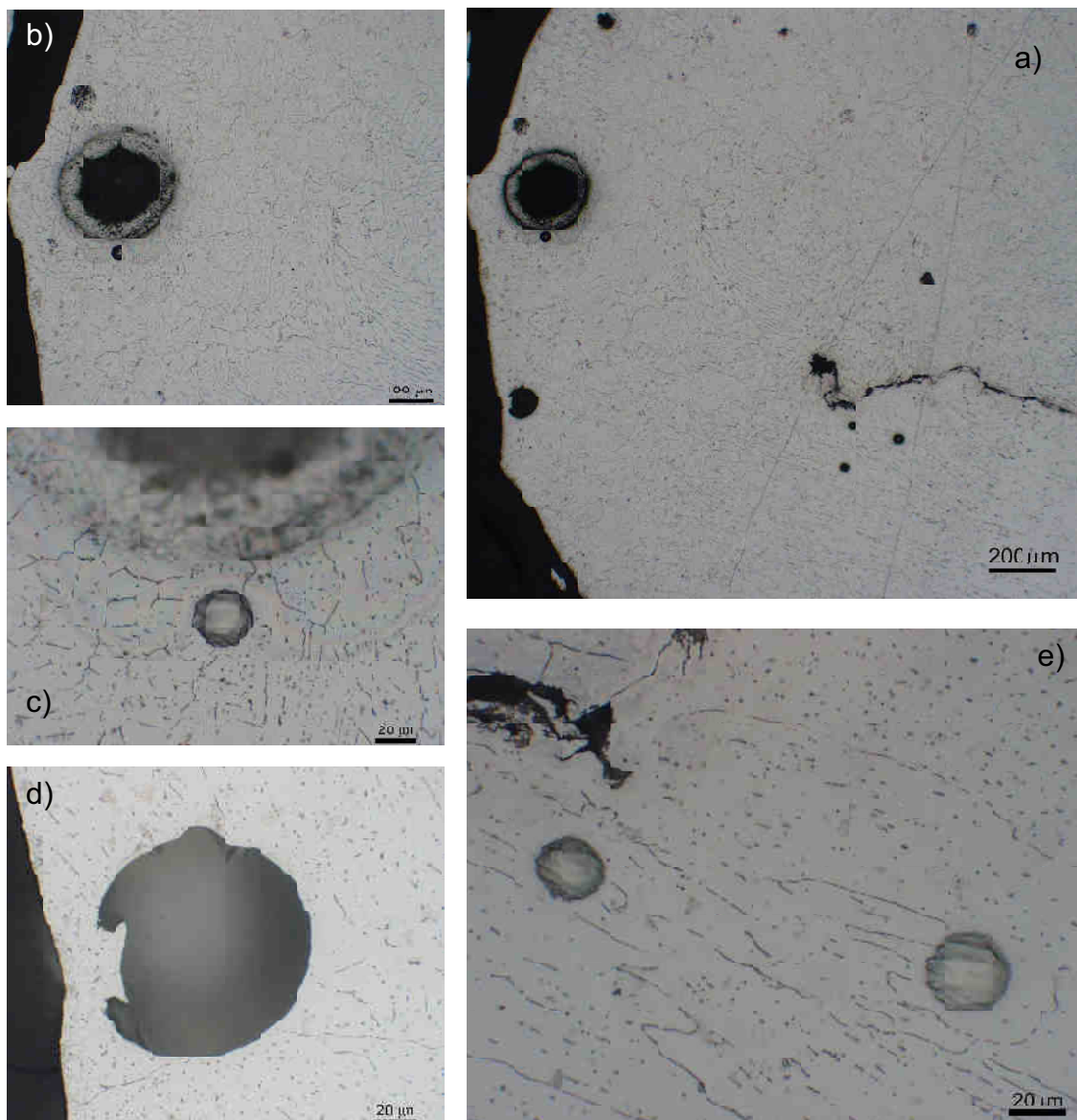
Zalisování (vypreparování) proběhlo metodou lisování za tepla na přístroji Labopress – 3, Sruers. Tlak zalisování 20 kN, při teplotě 180 °C. Doba ohřívání 6 min, doba chlazení 3 min.

Broušení vzorků probíhalo postupným zvyšováním jemnosti brusného papíru. 1. krok – 600 μm ., 2. krok – 1200 μm , 3. krok – 4000 μm délka broušení vzorků 3 min.

Leštění vzorků : použitá 3 μm diamantová pasta spolu s DP MOL – růžové smáčedlo (chlazení), doba leštění 6 min.

OPECHEM – chemické leštění, emulzní pasta OPU (1 μm), doba chemického leštění 3 min.

Leptání + Oplach : Keller vhodný pro leptání hliníku a jeho slitin.



Obr. 7.25 Metallografické vzorky provedené v příčném řezu zasažené části svaru.

a) pohled na průřez svarem, zvětšení 50x

b) zvětšení 100x

c), d), e) detailní pohledy ve zvětšení 500x

Vyhodnocení experimentu:

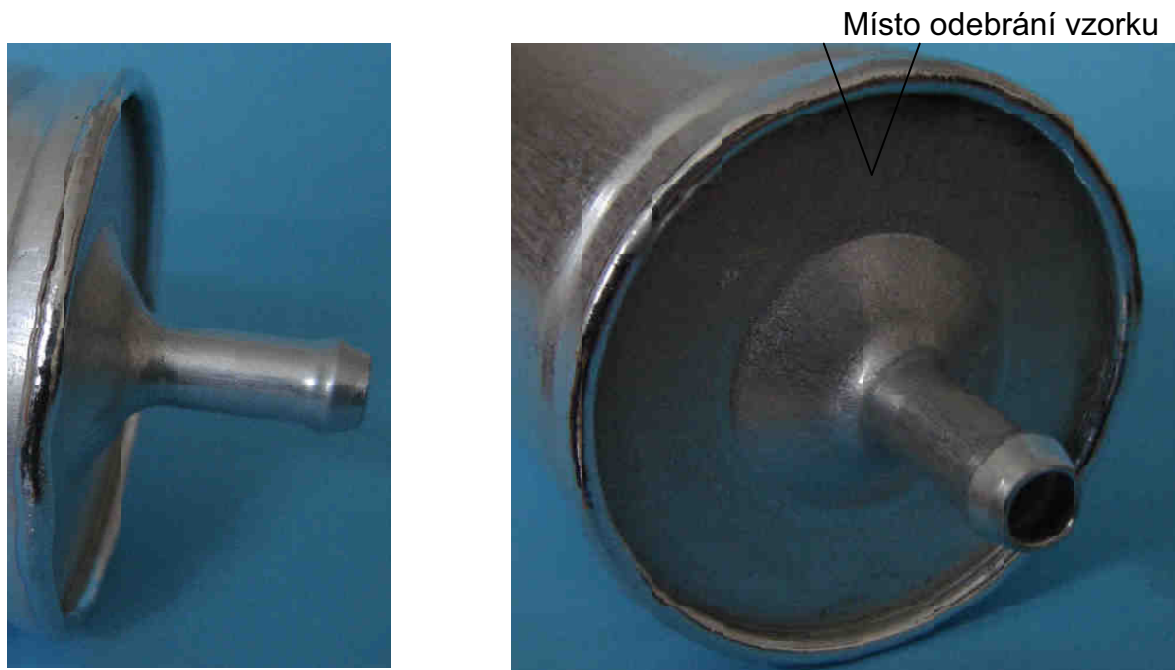
Při umělém znečištění svařovaných ploch mastnotou došlo k výraznému znehodnocení svarového spoje. Jak ukazuje (obr. 7.24) je svar v místě znečištění značně poškozen, ale i přesto svar vykazuje určitou hloubku průvaru, který splňuje danou minimální hloubku 0,7 mm. Hloubka průvaru vedla k tomu, aby se vyhotovil metalografický vzorek (obr.7.25). Metalografický vzorek ukázal výskyt četných vad, které by způsobily sníženou odolnost proti působení tlaku a zvýšenou možnost netěsnosti svarového spoje.

Tento modelový případ znečištění je extrémní oproti případu, který může nastat při přípravných procesech před svařováním. Dotykem personálu, který manipuluje se svařovanými dílci bez ochranných pomůcek, může dojít k zanesení nečistot. Tyto nečistoty se pak mohou chovat, v menší míře, podobně jako provedený experiment.

7.4.2.Oxidická vrstva a její vliv na kvalitu svaru.

Oxidická vrstva (kysličník hlinitý Al_2O_3) vzniká přirozenou cestou na povrchu hliníkových materiálů a dodává materiálu korozní odolnost. Vrstva má tloušťku 0.01 μm . Je dokonale přilnavá a elektricky nevodivá. Měrná hmotnost oxidické vrstvy je asi 3960 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a teplota tavení je 2050 $^{\circ}\text{C}$. Teplota tavení oxidické vrstvy může způsobit neprovaření a špatné zapalování oblouku, proto se snažíme této vrstvy před svařováním zbavovat.

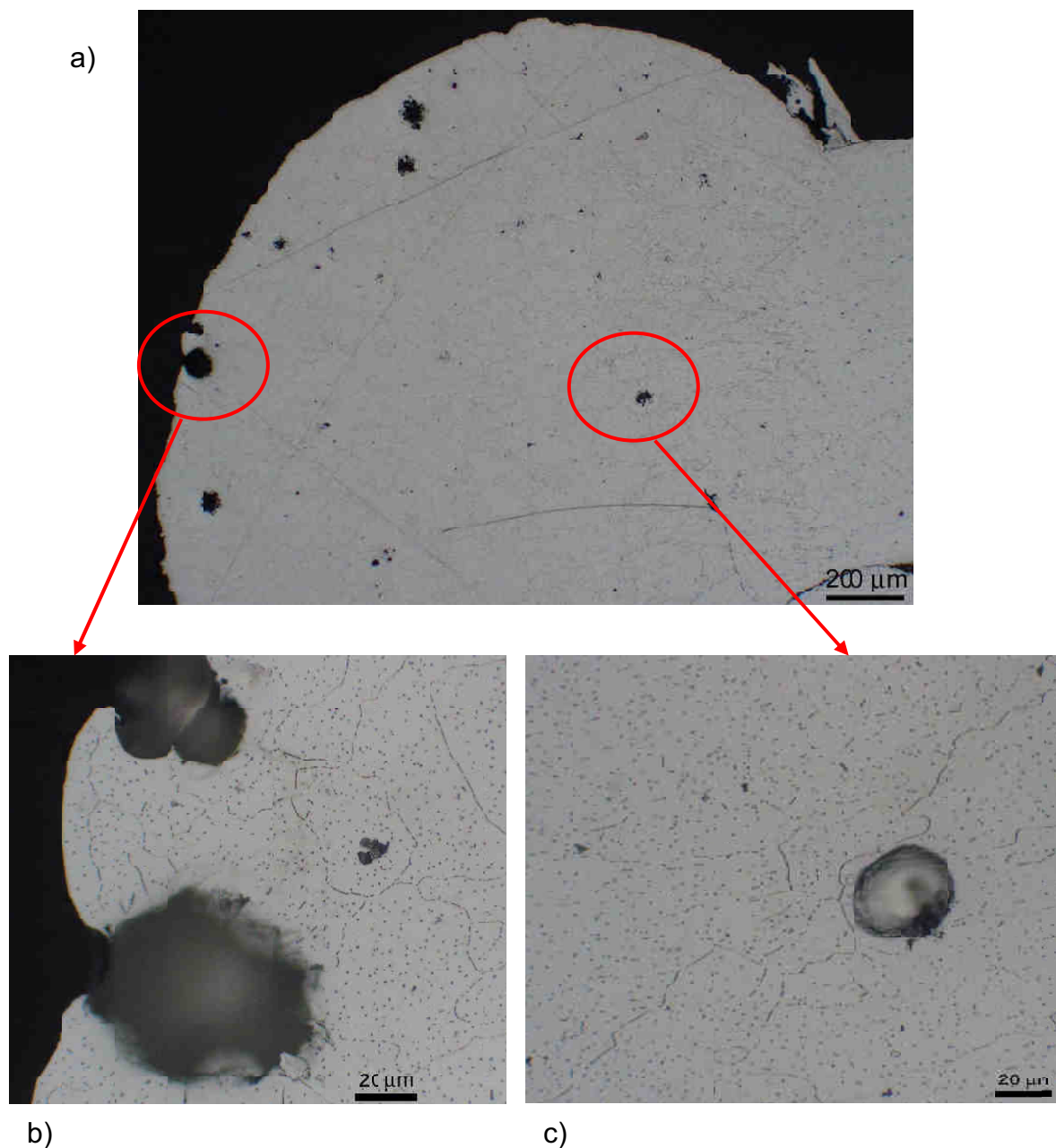
Experiment byl testován na vyřazených víčkách filtru z dodané série, která vykazovala značnou zmetkovitost danou znečištěním stykových ploch určených pro svařování. Nejprve se testoval filtr, který byl svařen nastavenými parametry bránými při běžné výrobě.



Obr. 7.26 Svařený filtr s nečištěným víčkem.

Na obr. 7.26 je patrné znečištění víčka filtru a vady, které způsobuje nečistota. Vady ve svaru se projevují formou miniaturních bublin, které způsobují netěsnost svarového spoje.

U svaru (obr. 7.26) byly provedeny metalografické vzorky (obr. 7.27). Místa odběru vzorků jsou vyznačeny výsečí na (obr. 7.26). Na vzorcích jsou patrné vady způsobené nečistotou na stykových plochách.



Obr. 7.27 Metalografické vzorky svaru z místa znečištění.

a) – příčný řez svarem, zvětšení 50x;

b), c) – detail vad ve svaru zvětšení 500x.

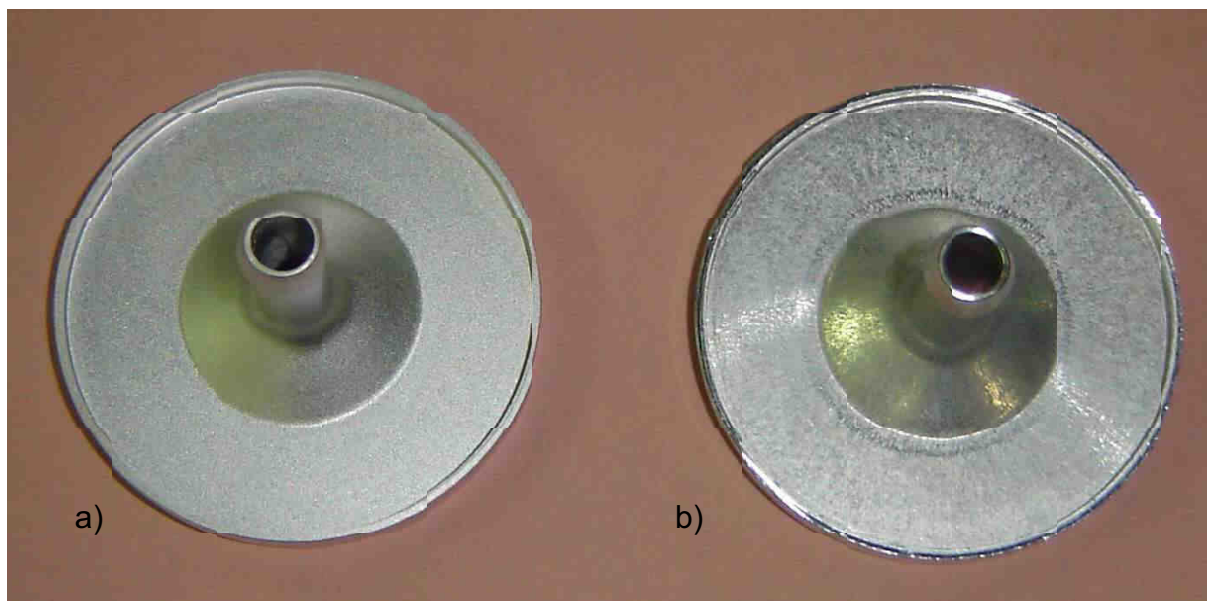
Další experiment se zaměřil na odstranění oxidické vrstvy, která nám brání kvalitnímu zapálení oblouku a zvyšuje pravděpodobnost neprovaření. Odstranění

oxidické vrstvy může probíhat různými způsoby. Nejčastěji se používají chemické, mechanické a fyzikální metody čištění povrchu.

Chemická metoda čištění povrchu využívá různé mořicí a oplachovací lázně. Mořicí lázně mají zásaditý základ (hydroxid sodný), oplach probíhá v neutralizační lázni slabé kyseliny.

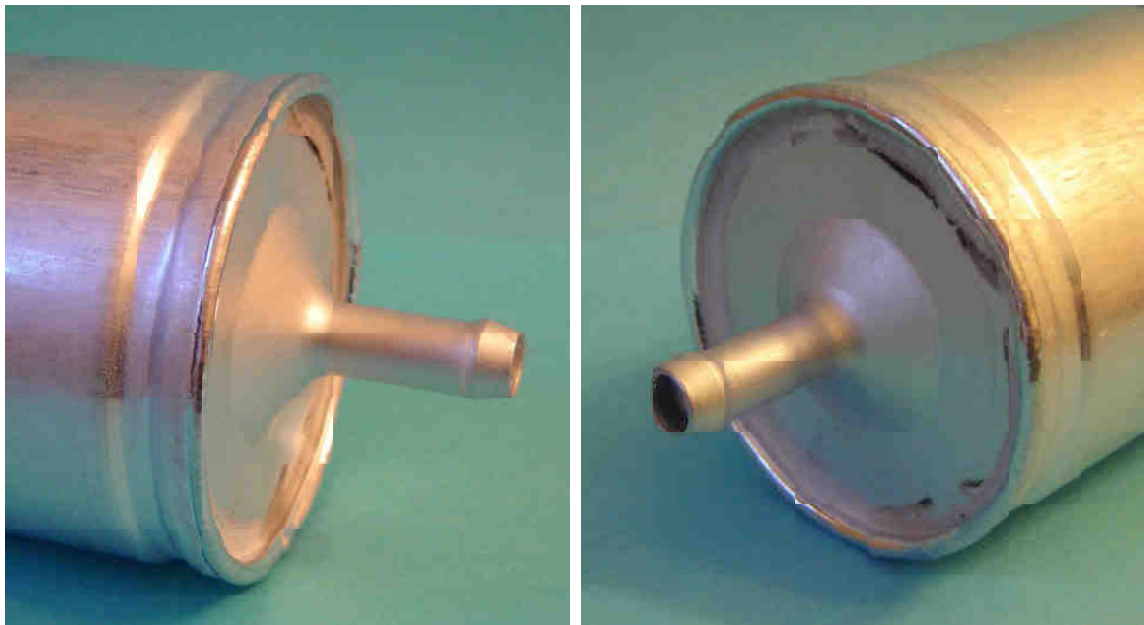
Mechanické čištění probíhá pomocí nerezového ručního či strojního kartáče. Fyzikální metoda čištění povrchu využívá obloukové svařování s obrácenou polaritou, kde svářecí elektroda je připojena na kladný pól – anoda a základní materiál je zapojen na záporný pól – katoda. Tok elektrického proudu je vyvolán pohybem elektronů od katody k anodě. Na katodě se vytvoří tzv. katodová skvrna, což je oblast s nejvyšší emisí elektronů. Katodová skvrna má tendenci vyhledávat na katodě místo s nejvyšším elektrickým potenciálem, které je v případě hliníku tvořeno vrstvičkou oxidu Al_2O_3 . Díky své energii skvrna oxid spolehlivě odpaří [5].

Odstranění oxidické vrstvy proběhlo chemickou cestou za pomoci mořicí lázně. Mořicí lázeň byla složena z 1 l vody a 100 g hydroxidu sodného (NaOH) o teplotě 60 – 70 °C. Hydroxid sodný měl čistotu 99,5 %, výrobce Kittfort Praha s.r.o. Moření probíhalo v plastové nádobě o objemu 0,5 l s obsahem mořidla 250 ml. Tento obsah byl záměrně volen jen 250 ml z důvodu předpokládané silné reakce. Moření probíhalo 3 min. Okamžitě po vysušení, pomocí stlačeného vzduchu, došlo ke svaření. Na obr. 7.28 je zřetelný rozdíl mezi vyčištěným víčkem a víčkem původním.



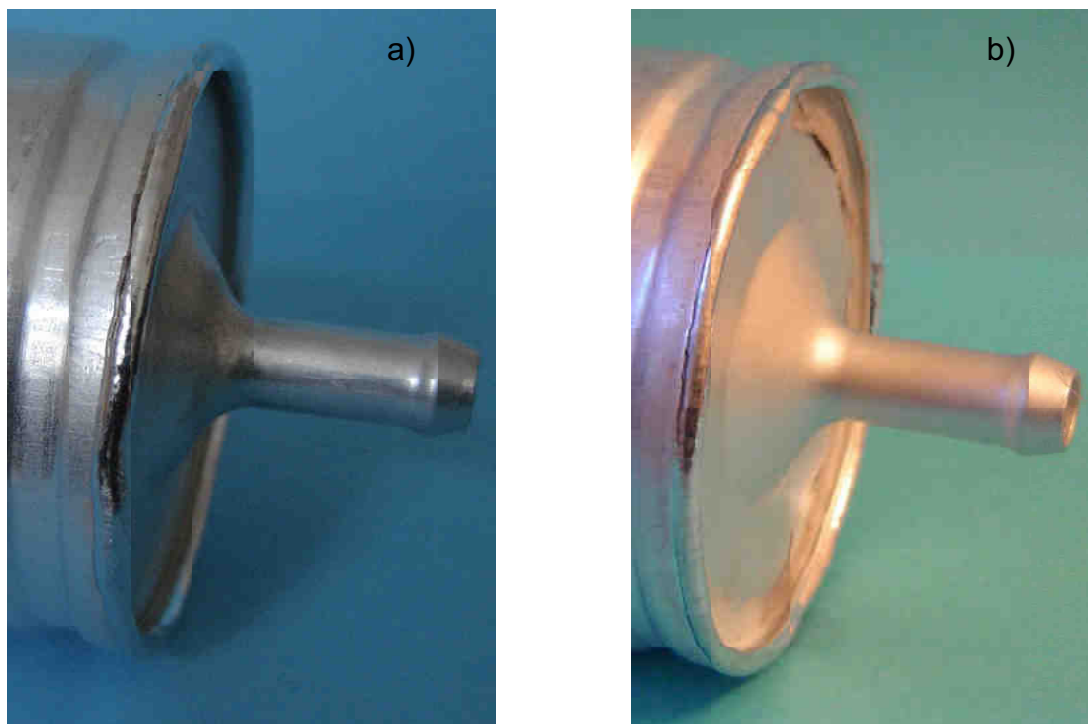
Obr. 7.28 Porovnání víček. a) po vyčištění v mořicí lázni, b) původní stav .

Po zalisování víčka do těla filtru došlo ke svaření, výsledek je vidět na obr. 7.29. Světlá místa ukazují přítomnost zbytků mořidla, které při nedokonalém oplachu ulpěla na povrchu víčka filtru.



Obr. 7.29 Vyčištěné víčko filtru po svaření

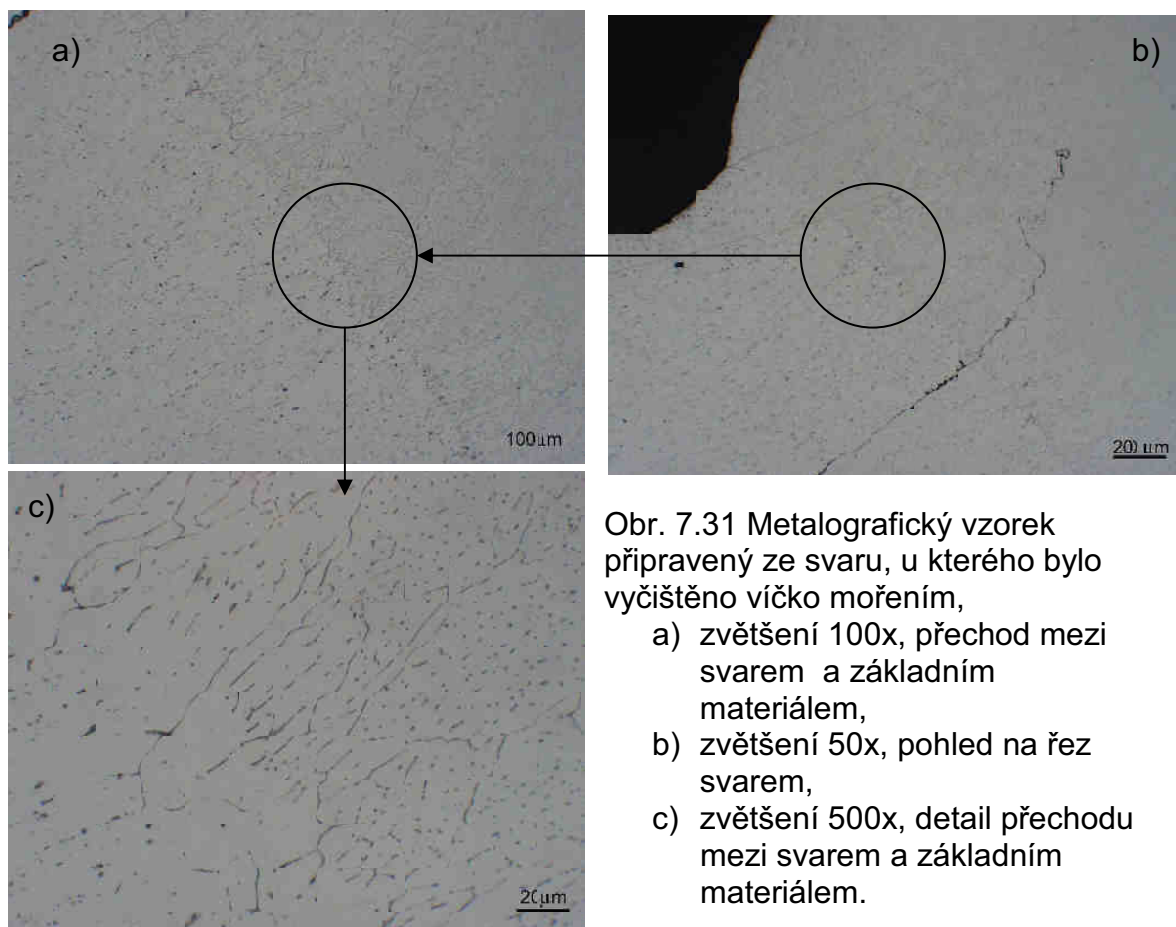
Vizuální kontrola prokázala výrazné zlepšení oproti filtrům, které neprošly mořicí lázní. Porovnání je znázorněno na (obr. 7.30), kde hlavním rozdílem je svar kompaktního tvaru a bez povrchových vad.



Obr. 7.30 Porovnání filtrů po svaření.

- a) původní nevyčištěný filtr
- b) vyčištěný filtr

U vyčištěného víčka byly provedeny metalografické vzorky (obr. 7.31), které prokázaly čistotu svaru bez viditelných vad. Vzorek z (obr. 7.29) můžeme porovnat s filtrem, který neprošel čistícím procesem v mořicí lázni.



Obr. 7.31 Metalografický vzorek připravený ze svaru, u kterého bylo vyčištěno víčko mořením,

- a) zvětšení 100x, přechod mezi svarem a základním materiálem,
- b) zvětšení 50x, pohled na řez svarem,
- c) zvětšení 500x, detail přechodu mezi svarem a základním materiálem.

Koncentraci, teplotu a čistotu mořicí lázně je nutné dodržovat na parametrech, které byly popsány v úvodu tohoto experimentu. Doba moření by neměla přesáhnout 3 min., protože bylo odzkoušeno moření v délce 5 min. a došlo k znehodnocení rozměrů víčka filtru. V neposlední řadě se musí věnovat vyšší pozornost neutralizaci a oplachu po procesu moření. Výsledek nedodržení těchto parametrů je zřetelný z (obrázku 7.32).



Tento vzorek byl mořen v lázni, která neměla odpovídající teplotu a koncentraci. Doba moření také přesahovala 3 minuty, což vedlo k degradaci rozměrů víčka.

Nastavené svařovací parametry těchto experimentů jsou uvedeny v (tab. 7.5), kde jsou zaneseny i odzkoušené hodnoty nastavení balančního regulátoru. Nastavením tohoto regulátoru se testoval vliv na znečištěné víčko a výsledný svar.

Obr. 7.32 Znehodnocení svaru z důvodu nedodržení postupu čištění filtru.

Tab. 7.5 Nastavené parametry svařování.

Povrchové vlastnosti – oxidická vrstva MW 3000, TR 50-mc, wolframová elektroda – Green-W 3,2x175 mm, inertní plyn Argon 4,5 (99,995%)				
Balance	[+][-]	-1	0	+3
Proud	[A]	110	110	108
Napětí	[V]	14	12,7	15
Vzdálenost elektrody	[mm]	1±0,1	1±0,1	1±0,1
Průtok plynu	[l/min]	17	14	14
Proud závěrného kráteru I_E	[%]	37	37	37
Nastavení kaloty	[-]	1,7	1,7	1,7
Impulzní proud I_1	[-*]	6,1	6,1	6,1
Základní proud I_2	[%]	50	50	50
Regulátor Duty-Cycle	[%]	30	30	30
Frekvence	[Hz]	1,4	1,4	1,4
xř	[-]	x100	X100	x100
* hodnoty odečtené z počtu dílků na regulátoru Tr 50mc.				

Vyhodnocení experimentu:

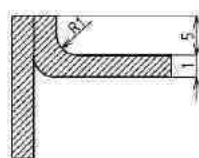
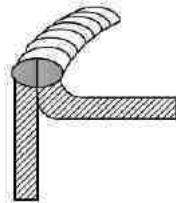
Tento experiment se zabýval vlivem oxidické vrstvy na kvalitu svaru. Byly provedeny testy na filtrech - víčkách, které byly zasaženy oxidickou vrstvou Al_2O_3 . Víčka měly značnou zmetkovitost, proto byly staženy z výroby a dále sloužily pro tyto experimenty. Důraz byl kladen na chemické a fyzikální čištění. Chemické čištění probíhalo v mořicí lázni o složení 100 g NaOH (hydroxidu sodného) na 1 l vody při teplotě 60 – 70 °C po dobu 3 až 5 minut. Před svařením mořeného vzorku byl pro porovnání svařen filtr bez chemického čištění (obr. 7.26 a obr. 7.27), na kterém byly zaznamenány zřetelné vlivy oxidické vrstvy. Svar vykazoval v celém průřezu neprovařená místa formou „bublin“, které se projeví i na povrchu svaru. Po svaření vyčištěného filtru v mořicí lázni byly zaznamenány znatelné rozdíly jak ve vizuálním, tak i ve strukturálním vyhodnocení (obr. 7.29 a obr. 7.31).

Důležitým faktem u tohoto experimentu bylo dodržení koncentrace, teploty a času moření filtrů. Při nedodržení těchto parametrů a zanedbání neutralizačního oplachu, svary vykazovaly rozsáhlé vady, které znehodnocovaly filtr (obr. 7.32).

Výsledkem těchto experimentů je také snižování doby mezi čištěním a svařováním filtrů. Je to z důvodu rychlého obnovování oxidické vrstvy a čím větší budou prodlevy mezi těmito operacemi, tím horší bude výsledná kvalita svaru. V případě, který řeší firma Mann+Hummel, kam přicházejí vyčištěné komponenty přímo od výrobce sídlícího ve Spolkové republice Německo, dochází k velkému časovému rozdílu mezi svařením a čištěním filtrů. Řešením této situace může být zkracování doby skladování a expedice před svařováním, nebo zavedením dezoxidační – čistící linky přímo ve firmě Mann+Hummel, odkud by komponenty k filtrům přešly bezprostředně po vyčištění do výroby.

7.5. Návrh technologického postupu

Návrh technologického postupu je postaven z předešlých výsledků experimentu.

Specifikace postupu svařování „WPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)				Strana: 1 Celkem: 1 Revize č.: 5	
1. Výrobce: MANN+HUMMEL (CZ) s.r.o. Nová Ves 66 67521 Okříšky		10. Zkušební organizace: TDS Brno – SMS, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 Brno			
2. Místo: M+H, Nová Ves 66, 67521 Okříšky		11. Způsob přípravy úkosu: obrábění			
3. Číslo dokladu (WPS): 01		12. Způsob čištění: moření, neutralizace, oplach			
4. Číslo WPQR: —		13. Specifikace základních materiálů: EN AW 1050			
5. Číslo zkušebního kusu: 1		- materiál 1: EN AW 1050			
6. Kvalifikace svařeče: —		- materiál 2: —			
7. Metoda svařování: 141(WIG)		14. Svařovaná tloušťka [mm]: t = 2 mm			
8. Druh svaru: ISO 2553 Lemový svar		15. Vnější průměr [mm]: D = 55 mm			
9. Údaje o přípravě svarových ploch: Moření, oplach		16. Poloha svařování: PA			
17. Tvar spoje		18. Rozměry		19. Postup svařování	
		a [mm] 5 b [mm] — c [mm] 1 α [°] —			
20. Parametry pro svařování					
21. Svarová housenka	1	2	3	4	5
22. Metoda svařování	141(WIG)				
23. Průměr přídav. mater. [mm] - Ø	—				
24. Svařovací proud [A]	110				
25. Svařovací napětí [V]	14				
26. Druh proudu a polarita	-1				
27. Přenos kovu přídavného materiálu	—				
28. Rychlost podav. drátu [m.min ⁻¹]	—				
29. Rychl. postupu jezdů [m.min ⁻¹]	—				
30. Tepelný příkon [J.cm ⁻¹]	—				
31. Přídavný materiál - zařízení a značka: —					
32. Předpis pro sušení: —		42. Údaje o podložním kroužku: —			
33. Ochranný plyn / tavítko: Ar 4.5		43. Další informace: Rozkvy - amplituda: —			
- ochranný plyn [l.min ⁻¹]: 17		- frekvence a doba prodlevy: —			
- ochrana kořene [l.min ⁻¹]: —		Rozkvy (max. šířka housenky): —			
34. Wolfram. elektroda, druh/průměr: Green W 3,2x175		44. Údaje pro pulzní svařování: poloha30;(I₁=30%, I₂=70%)			
35. Údaje o drážkování/podlož. kořene: —		45. Údaje pro plazmové svařování: —			
36. Teplota předehřevu [°C]: —		46. Úhel nastavení hořáku: 90°			
37. Interpass teplota [°C]: —		47. Druh automatu a svař. hlavy: MW3000, TR50mc			
38. Tepelné zpracování / stárnutí: —		48. Prokováání svaru: —			
39. Doba, teplota, postup: —		49. Poznámky: —			
40. Rychlost ohřevu a chlazení: —					
41. Vzdálenost elektrody (kontaktní špičky) od základního materiálu [mm]: 1					
50. Výrobce: MANN+HUMMEL (CZ) s.r.o. Nová Ves 66 67521 Okříšky		52. Zkušební orgán nebo technická dozorce (inspekční) organizace			
51. datum, jméno, podpis a razítko svařečského dozoru		53. datum, jméno, podpis a razítko zkušebního orgánu			

Obr. 7.33 WPS protokol, vyplněn dle předchozích odzkoušených svařovacích parametrů, vzor WPS byl převzat [Tds Brno]

Parametry svařování jsou nastaveny na optimální hodnoty, které vyhovují požadavkům úspory času a materiálu. Výsledky jsou zaneseny do formuláře WPS (obr. 7.1), který je přehledným souhrnem všech nastavených parametrů. Požadavky na provádění a schvalování zkoušek postupů svařování hliníku a jeho slitin jsou definované v normě ČSN EN ISO 15614-2. Schválení požadovaného postupu se děje na základě :

- a) zpracovaného předběžného postupu svařování - pWPS
- b) zhotovení a svaření zkoušky podle pWPS
- c) prohlídky a vyzkoušení svařené zkoušky v předepsaném rozsahu
- d) provedení schválení výsledků této zkoušky ve vztahu k materiálu, procesu svařování a vystaveného protokolu o schválení postupu svařování WPQR

WPS, která je na (obr. 1) a hodnoty svařování v ní zanesené musí schválit zkušební orgán, který podle těchto postupů svařování provede dané zkoušky ve výše popsané normě.

Pro postup vyplnění technologického postupu se používají normy, ve kterých jsou zaneseny všechny náležitosti k danému problému.

Řazení norem dle postupu vyplňování WPS z obr. 7.1 :

- 1) Metoda svařování, popisuje norma ČSN EN ISO 4063
 - 2) Druh svaru popisuje norma ČSN EN ISO 9692 – 1
 - 3) Specifikace základního materiálu pro materiál použitý v technologickém postupu, ČSN 05 0323 (resp. CR ISO 15608)
 - 4) Polohu svařování popisuje norma ČSN EN ISO 6947
- Další údaje jsou odečítány přímo ze svařovacího agregátu a z příslušenství používaných pro tento proces.

8. Závěr

Dílčí závěry:

- Přesazené víčko: velké hodnoty přesazení (nad 1,6 mm) vedou k neprovaření svarového spoje a mohou způsobit dotyk wolframové elektrody se základním materiálem, což vede k tepelné degradaci a snížení schopnosti zapalování oblouku.
- Deformace víčka: při deformaci, která zasahuje celou výšku lemového spoje způsobí neopravitelné vady svarového spoje. Deformace menších rozměrů (deformovaná část nezasahuje na kořen svaru) neovlivní ve velké míře svarový spoj.
- Průtok plynu: průtok dostačující pro svařování palivových filtrů je po odzkoušení 14 – 17 l/min (Ar 4,5). Před začátkem uvedení svářečského pracoviště do provozu je nutná kontrola stavu plynu v nádobách a v přívodu ke svařovacímu hořáku.
- Vliv čistoty svařovaných ploch: z provedených experimentů vyplývá nutnost čištění svařovaných dílů, popřípadě zkracování doby skladování a přepravy od externího dodavatele těl a víček filtrů s přiloženým protokolem o provedení čištění se všemi náležitostmi (datum provedení čištění, metoda čištění atd.)

Tato diplomová práce je ve své části literární studie zaměřená na obloukové svařování, zejména se zabývá technologií svařování metodou WIG/TIG.

Experimentální část diplomové práce se zabývá problematikou eliminací vad ve svarech za použití navržené mechanizace a provedením experimentů, které měly simulovat možné situace ovlivňující kvalitu svařené části filtru. Modelové situace byly navrženy tak, aby vycházely z reálných příčin vzniku vady ve svaru. Z mnoha příčin byly vybrány geometrické odchylky, kam patří přesazení a deformace víčka vůči tělu filtru, čistota svařovaných ploch, zejména vliv mastnoty a oxidické vrstvy na kvalitu svaru, a v neposlední řadě nastavení svařovacích parametrů, které figurovaly u každého provedeného experimentu, při kterém se zkoušelo jejich optimální nastavení.

Navržená mechanizace, která byla řešená ve formě opěrného kotouče, má předcházet vybočení svařovaného filtru z dráhy elektrody a tím zabránit vzniku nekvalitního svaření. Kolmost filtru k elektrodě taktéž zajišťuje tento opěrný kotouč vyrobený jako svařenec z plechu o tloušťce 2 mm a materiálu ČSN 11 523. Opěrný kotouč byl připevněn do předem připraveného otvoru, který se nachází na konzole zhotoveného výrobcem příslušenství mechanizovaného pracoviště. Navržená mechanizace se pak podílela na všech provedených experimentech a přispěla ke zkvalitnění a předcházení dalších vad.

Experiment zabývající se vlivem přesazeného víčka popsáný v kapitole 7.1 vyhodnocuje největší možné přesazení, které může nastat při výrobě, aniž by se výrazně změnila kvality svarového spoje. Přesazení víčka v rozmezí 0 až 1,6 mm, při nastavených parametrech svařování (tab. 7.1), splnily požadované hodnoty dané firmou Mann+Hummel, které jsou 0,7 mm hloubky průvaru. Mezní hodnota 1,6 mm přesahu splnila tyto předepsané hodnoty, ale při nedodržení optimálních svařovacích podmínek může dojít k lokálnímu porušení svaru formou nedostatečného provaření. Dále se sledovala možnost, u velkého přesazení, dotyku wolframové elektrody se základním materiálem. Tímto dotykem dochází k nalegování wolframové elektrody hliníkem, což způsobí tepelnou degradaci wolframové elektrody, a z toho plynoucí

snížení doby životnosti. Nalegovaná wolframová elektroda má také sníženou schopnost kvalitního zapalování oblouku, která vede k vadám v místě zápalu. Předcházení tohoto problému přesazených víček je velice složité u plně mechanizovaného provozu, kde kontrola včas neodhalí tuto závadu. Aby se zabránilo nekvalitnímu zalisování, je nutná pravidelná kontrola místa vakuového mechanického podavače zejména těsnících lamel v dosedací části.

Problematika deformovaného víčka probraná v kapitole 7.2 ukazuje dva druhy deformace. První z deformací, která byla provedena tak, že nezasahovala až na kořen budoucího svaru prokazovala jak po vizuální, tak i po podrobné analýze, že svar je plně vyhovující z hlediska hloubky průvaru. Druhý vzorek s deformovanými okraji 0,8 až 2 mm již neobstál při vizuální kontrole. Nastavené hodnoty svařování byly zachovány pro oba vzorky.

Nastavení svařovacích parametrů se zabývá průtokem ochranného plynu (kapitola 7.3.1) a nastavením balančního regulátoru. Průtoky plynu byly voleny 0, 7, 17, 25 l/min s nastavenými svařovacími parametry (tab. 7.3). Z hlediska hodnocení čistícího efektu a rychlosti svařování měl nejlepší výsledky průtok plynu v rozmezí 14 – 17 l/min. Ostatní vyšší průtoky jsou pro tento druh svařování z ekonomického hlediska nevýhodné. Balanční regulátor (kapitola 7.3.2) byl nastaven do maximálních hodnot čistícího účinku +5. Byl sledován průběh a kvalita svařování. Výsledkem byl vyhovující svar se zhoršenou kvalitou povrchu. Při tomto nastavení je velice tepelně zatěžovaná wolframová elektroda, u které se zvyšuje rychlost úbytku délky.

Z hlediska praktického je vliv čistoty svařovaných ploch v problematice svařování palivových filtrů nejvýznamnějším jevem ovlivňujícím kvalitu svaru. Experimenty se zaměřily na vliv mastnoty (kapitola 7.4.1) a oxidické vrstvy (kapitola 7.4.2) na kvalitu svaru. Experiment zabývající se znečištěním svařovaných ploch mastnotou měl simulovat dotyk rukou obsluhujícího personálu bez ochranných pomůcek. Toto znečištění ploch v modelové situaci prokázalo znehodnocení svaru po stránce snížené odolnosti vůči tlaku a těsnosti svarového švu. Výsledek vede ke zvýšení pozornosti při manipulaci s jednotlivými dílci filtru na všech pracovištích před samotným procesem svařování. Velkým důrazem kladeným na kvalitní ochranné pomůcky veškerého personálu, který přichází do styku s těmito díly, se může předejít zmetkovitosti výroby. Dalším jevem byla sledovaná oxidická vrstva a její vliv na kvalitu svaru (kapitola 7.4.2). Byly provedeny experimenty porovnávající očištěná a původní vyřazená zoxidovaná víčka filtrů. Očištění proběhlo v mořicí lázni o složení 100g NaOH na 1l H₂O při teplotě 60 – 70°C po dobu 3 min. Po moření se provedl oplach a sušení. Porovnání původního a vyčištěného víčka filtru je patrné na (obr. 7.24). Nastavené parametry svařování jsou uvedeny v (tab. 7.5). Výsledkem po svaření vyčištěného filtru byl svar, který vykazoval dobré výsledky při vizuálním i podrobném hodnocení. Při čištění se musí dodržovat optimální koncentrace mořicí lázně a její teplota. Kvalitní oplach s neutralizací se také musí dodržet k docílení kvalitního svaru. Jedním z řešení těchto experimentů je snížení doby mezi čištěním a svařováním filtrů z důvodu rychlého obnovování oxidické vrstvy, čím větší budou prodlevy mezi těmito operacemi, tím horší bude výsledná kvalita svaru. Firma Mann+Hummel odebírá vyčištěné komponenty k filtrům přímo od výrobce sídlícího ve Spolkové republice Německo a tím dochází k velkému časovému rozdílu mezi svařením a čištěním filtrů. Řešením této situace může být zkracování doby skladování a expedice před svařováním, nebo zavedení dezoxidační – čistící linky přímo ve firmě Mann+Hummel, odkud by komponenty k filtrům přešly bezprostředně po vyčištění do výroby.

Seznam použité literatury:

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ, et al. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava : Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ, et al. *Materiály a jejich svařitelnost*. 2. upr. vyd. Ostrava : Zeross, 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
- [3] KOLEKTIV AUTORŮ, et al. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování*. 1. vyd. Ostrava : Zeross, 2000. 213 s. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
- [4] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. RNDr.Blanka Plášilová,CSc; Obálka akad. malíř Miloš Lang. 3. vyd. Praha 5 - Smíchov : Nakladatelství Scientia, 2007.241 s. ISBN 978-80-86960-28-9.
- [5] PTÁČEK , Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu 1*. 2. rozš. vyd. Purkyňova 95a, 612 00 Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [6] PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu 2*. 2. rozš. vyd. Purkyňova 95a, 612 00 Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 392 s. ISBN 807204- 248-3.
- [7] KUNCIPÁL,J. a kol.,*Teorie svařování*. 1.vyd. Nakladatelství SNTL, Praha, 1986, 272 s.
- [8] PÍŠEK, František, JENÍČEK, Ladislav, RYŠ, Přemysl. *Nauka o materiálu 1 : Nauka o kovech*. 2. přeprac. vyd. Praha : Academia, 1973. 596 s.
- [9] CHVOJKA, J, BRZOBOHATÝ, M. *Zpracování a použití hliníku a jeho slitin*. 1. vyd. Spálená 51, Praha 1 : Státní nakladatelství technické literatury, 1961. 223 s.
- [10] ČSN EN ISO 4063, *Svařování a příbuzné procesy : Přehled metod svařování*. Český normalizační institut, Praha : Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- [11] ČSN EN ISO 9692, *Svařování a příbuzné procesy : Doporučení pro přípravu svarových spojů*. Český normalizační institut, Praha : Český normalizační institut, 2004. 24 s.
- [12] ČSN EN ISO 6947, *Svařování : Pracovní polohy – Definice úhlů sklonu a otočení*. Český normalizační institut, Praha : Český normalizační institut, 1999. 15 s.
- [13] ČSN EN ISO 15607, *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů : Všeobecná pravidla*. Český normalizační institut, Praha : Český normalizační institut, 2004. 20 s.
- [14] *Svarbazar* [online]. 2007 [cit. 2008-02-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006031201>>

- [15] *Lascentrum* [online]. 2005 [cit. 2008-02-08]. Dostupný z WWW:
<<http://www.lascentrum.com/en/tbi+welding+torches+tig/>>.
- [16] JOURA , Vít. *Svarbazar* [online]. 2006 [cit. 2008-04-03]. Dostupný z WWW:
<<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006111201>>.
- [17] KOUTNÝ, J. *Svarbazar* [online]. 2006 [cit. 2008-03-23]. Dostupný z WWW:
<http://www.svarbazar.cz/phprs/download.php?akce=detail&id_detail=8&sekce=1>.
- [18] *Tdsbrnosms* [online]. 2006 [cit. 2008-03-23]. Dostupný z WWW:
<<http://www.tdsbrnosms.cz/odkazy.php>>.
- [19] Firemní literatura – *Magic wave 2600, Trenstig 2600/300* – FRONIUS s.r.o.
- [20] Firemní literatura – *WC20 Elektroden, Plansee* Aktiengesellschaft

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Zápalný bod oblouku	[-]
E	Modul pružnosti v tahu	[Nmm ⁻²]
F _g	Gravitační síla	[N]
F _h	Hydrodynamická síla	[N]
F _m	Síla způsobená elektromagnetickým polem	[N]
F _s	Povrchová síla	[N]
F _p	Silový účinek vypařování	[Fp]
g	Gravitační zrychlení	[ms ⁻²]
I	Proud	[A]
I _k	Zkratový proud	[A]
I _p	Pracovní proud	[A]
I _z	Základní proud	[A]
k	Součinitel vlivu napětí a proudu	[-]
l	Délka	[mm]
P	Výkon	[W]
P	Pracovní bod oblouku	[-]
p	Tlak	[Pa]
Q _a	Tepelná energie vydaná anodou	[J]
Q _c	Celková tepelná energie	[J]
Q _i	Energie přímo vybavené z anody, katody	[J]
Q _m	Energie entalpie kapek přenášeného kovu	[J]
Q _{OBL}	Celková energie oblouku	[J]
Q _p	Energie přenášeného toku plazmatu	[J]
Q _R	Energie radiačního záření	[J]
Q _{sv}	Energie vnesená do svarového spoje	[J]
Re	Mez kluzu	[Nmm ⁻²]
R _m	Smluvní mez pevnosti	[Nmm ⁻²]
ΔT	Rozdíl teplot	[°C]
t	Čas	[s]
t _p	Doba impulzního proudu	[s]
t _z	Doba ionizace oblouku	[s]
U	Napětí	[V]
U ₀	Napětí naprázdno	[V]
U _N	Pracovní napětí	[V]
v _s	Rychlost	[ms ⁻¹]
W _o	Potenciální energie pro změnu polohy iontu v krystalu	[J]
W _p	Potenciální energie – vliv povrchu krystalu	[J]
W _r	Potenciální energie na rozhraní fází	[J]
α	Teplotní roztažnost	[K ⁻¹]
γ	Povrchové napětí	[Nm ⁻¹]
σ _T	Tepelné napětí	[MPa]
φ	Úhlová deformace	[-]