

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Bakalářská práce

Svařování železných a neželezných kovů

Hrdlička Dominik

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dominik Hrdlička

Zemědělské inženýrství

Inženýrství údržby

Název práce

Svařování železných a neželezných kovů

Název anglicky

Welding of ferrous and non-ferrous metals

Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách svařování železných a neželezných kovů a jejich slitin.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

železo, hliník, měď, slitiny, svařování

Doporučené zdroje informací

- BOHNART, E. R.: Welding. Principles and practices. Fifth Edition. New York, McGraw-Hill Education 2017. 1152.
- BOWDITCH, W. A., BOWDITCH, K. E., BOWDITCH, M. A.: Welding fundamentals. Fifth Edition. Tinley Park, Goodheart-Willcox Pub 2016. 320.
- DAVIES, G.: Materials for Automobile Bodies. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2003. 277.
- KOU, S.: Welding metallurgy. Third Edition. Hoboken, Wiley 2020. 688.
- MANDAL, N. R.: Aluminum welding. New Delhi, Narosa Publishing House 2002. 148.
- MATHERS, G.: The welding of aluminium and its alloys. Boca Raton, CRC Press 2002. 236.
- PHILLIPS, D. H.: Welding engineering. Chichester, Wiley 2016. 275.
- WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193.
- YAMAGATA, H.: The science and technology of materials in automotive engines. Abington Hall, Abington Cambridge, Woodhead Publishing Limited 2005. 328.
- ZHANG, H., SENKARA, J.: Resistance welding: fundamentals and applications. Boca Raton, Taylor & Francis 2006. 431.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Svařování železných a neželezných kovů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3.3.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za věcné a odborné rady při psaní této práce.

Svařování železných a neželezných kovů

Abstrakt

Cílem práce bylo shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách svařování železných a neželezných kovů a jejich slitin.

Na začátku práce nalezneme výčet několika základních pojmů týkajících se svařování a také definici svařitelnosti. Následuje rozdělení a bližší popis nejznámějších a nejpoužívanějších metod svařování. Další kapitoly se zabírají využitím a aplikací uvedených metod svařování železných a neželezných materiálů a jejich slitin. Na závěr lze nalézt krátké shrnutí poznatků vybraných metod a jejich využití.

Klíčová slova: Svařovací metody, Tavné svařování, Třecí svařování, Železné a neželezné slitiny, Neželezný kov, Slitina hliníku

Welding of ferrous and non-ferrous metals

Abstract

The purpose of the work is to collect literary knowledge about the possibilities and principles of welding ferrous and non-ferrous materials and their alloys.

At the beginning is a quick summary of basic terms about welding and a definition of weldability. The next chapter takes a look at the most popular and used methods of welding. The third chapter is about the application and use of the welding methods that are named in the previous chapter for welding ferrous and non-ferrous materials and their alloys. In the end, is a small summary of knowledge of the listed methods and their usage.

Keywords: Welding methods, Fusion welding, Friction welding, Ferrous and non-ferrous alloys, Non-ferrous metal, Aluminium alloy

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce a metodika	2
1.1 Cíl práce	2
1.2 Metodika	2
2 Základní pojmy	2
2.1 Svařitelnost a základní názvy svarového spoje	2
2.2 Tepelně ovlivněná oblast při svařování.....	3
2.3 Polohy svařování.....	3
3 Metody svařování.....	4
Metody tavného svařování	4
3.1 Obloukové svařování	4
3.1.1 Ruční obloukové svařování	5
3.1.1.1 Přenos kovu a foukání oblouku	5
3.1.1.2 Zdroje pro ruční obloukové svařování	6
3.1.1.3 Přídavný materiál.....	6
3.1.1.4 Výhody a nevýhody metody.....	7
3.1.2 Svařování v ochranné atmosféře.....	7
3.1.2.1 Druhy ochranných plynů	7
3.1.2.2 Způsoby přenosu kovů v elektrickém oblouku	8
3.1.3 MIG/MAG (Metal-Inert-Gas/Metal-Active-Gas).....	9
3.1.3.1 Druhy přídavných materiálů.....	9
3.1.3.2 Rozdělení ochranných plynů	9
3.1.3.3 Výhody a nevýhody metody.....	10
3.1.4 TIG (Tungsten Inert Gas)	10
3.1.4.1 Netavící se elektroda	10
3.1.4.2 Ochranné plyny	11
3.1.4.3 Přídavný materiál.....	12
3.1.4.4 Výhody a nevýhody metody.....	12
3.2 Plamenové svařování	12
3.2.1 Postup plamenového svařování	13
3.2.2 Svařovací plamen hořáku.....	14
3.2.3 Výhody a nevýhody metody	14
Tlakové svařování	15

3.3	Odporové svařování	15
3.3.1	Odporové svařování bodové	15
3.3.1.1	Stanovení tepla a odporu při svařování	15
3.3.1.2	Parametry svařování	16
3.3.1.3	Měkký a tvrdý režim svařování	16
3.3.1.4	Tepelná rovnováha	16
3.3.1.5	Výhody a nevýhody	17
3.3.2	Švové svařování	17
3.4	Třecí svařování	17
3.4.1	Třecí svařování promíšením	18
3.4.1.1	Výhody a nevýhody metody	18
3.5	Speciální metody svařování	19
3.5.1	Ultrasonické svařování	19
3.5.2	Svařování pomocí paprsku	19
3.5.3	Svařování výbuchem	19
4	Specifika svařování železných kovů a slitin	19
4.1	Svařování ocelí	20
4.1.1	Svařování obalenou elektrodou	20
4.1.2	Svařování metodou MAG	20
4.1.3	Svařování metodou TIG	21
4.1.4	Plamenové svařování	21
4.2	Svařování litiny s lupínkovým grafitem (šedá litina)	21
4.2.1	Svařování obalenou elektrodou	21
4.2.2	Plamenové svařování	22
4.3	Svařování litiny s kuličkovým grafitem (tvárná litina)	22
4.3.1	Svařování obalenou elektrodou	22
4.4	Svařování bílé litiny (temperovaná litina)	23
5	Specifika svařování neželezných slitin	23
5.1	Svařování hliníku a jeho slitin	23
5.1.1	Svařování obalenou elektrodou	23
5.1.2	Svařování metodou MIG	24
5.1.3	Svařování metodou TIG	24
5.1.4	Svařován plamenem	24
5.1.5	Odporové svařování bodové	25
5.2	Svařování hořčíku a jeho slitin	25
5.3	Svařování titanu a jeho slitin	25
5.3.1	Svařování metodou TIG	25
5.4	Svařování mědi a jejích slitin	26

5.4.1	Svařování metodou TIG.....	26
5.4.2	Plamenové svařování	26
6	Zkoušky svarů	27
6.1.1	Destruktivní zkoušky svaru	27
6.1.2	Nedestruktivní zkoušky svaru.....	27
7	Závěr.....	28
8	Seznam použitých zdrojů	30
8.1	Použitá literatura	30
8.2	Zdroje grafických podkladů	32

Seznam obrázků

Obrázek 1	Základní názvy svarového spoje	3
Obrázek 2	Hlavní polohy svařování	4
Obrázek 3	Schéma obloukového svařování.....	5
Obrázek 4	Průběh zkratového přenosu kovu z oblouku	5
Obrázek 5	Kapkový přenos.....	5
Obrázek 6	Sprchový přenos.....	5
Obrázek 7	Schéma metody MIG/MAG	9
Obrázek 8	Schéma svařování metodu TIG	10
Obrázek 9	Znázornění svařování doleva	13
Obrázek 10	Znázornění svařování doprava	13
Obrázek 11	Schéma bodového odporového svařování se znázorněním odporů	15
Obrázek 12	Tepelné rovnováha s rozdílnými elektrodami	16
Obrázek 13	Schéma švového svařování	17
Obrázek 14	Schéma třecího svařování.....	18
Obrázek 15	Speciální kryt pro svařování.....	25

Úvod

Svařování je metoda nerozebíratelného spojování materiálu. Tento proces lze provádět za pomoci soustředění tepla, tlaku nebo kombinací obou, s nebo bez přídavného materiálu. Výsledný svar má rovnocennou strukturu se strukturou samotných dílů, toto spojení se také označuje jako homogenní látkové spojení.

Svařování, ve smyslu spojování materiálů, je lidem známo téměř přes 3000 let, v raných dobách lidé využívali kovářského svařování k výrobě primitivních nástrojů, zbraní a šperků. Po celá staletí se jednalo o jedinou metodu svařování, a to až do konce 19. století, potažmo začátku 20. století, kdy započalo bližší zkoumání tří základních metod. Jednalo se o plamenové, odporové a obloukové svařování.

S odstupem několika let se tyto metody rozšířily a začaly se hojně aplikovat v průmyslu. Za počátek svařování s pomocí elektrického oblouku se považuje rok 1801, kdy anglický chemik sir Humphry Davy objevil elektrický oblouk, který tehdy našel využití v sestrojení lampy. V roce 1881 francouzský elektrotechnik Auguste de Méritens jako první na světě využil uhlíkové elektrody společně s elektrickým obloukem ke svaření dvou olověných desek. Roku 1888 ruský inženýr Nikolaj Slavjanov předvedl svařování elektrodou pod tavidlem. Roku 1907 si švédský inženýr Oscar Kjellberg, zakladatel světoznámé značky ESAB, nechal zaregistrovat patent pro svařování obalenou elektrodou. Velkého rozvoje se dočkalo svařování během první světové války, kdy se svařování využívalo při opravách poničené techniky. Během druhé světové války se svařování pomocí elektrického oblouku stalo dominantní metodou. Pohlédneme-li tedy na zmíněné metody svařování z hlediska času, jedná se o relativně mladé technologie. V současné době se rychle rozvíjí metody svařování využívající laser, či svařování neželezných kovů, a to především kvůli dobrým vlastnostem neželezných kovů a jejich slitin (nízká hmotnost, chemická odolnost, aj.).

První kapitola se věnuje cílům a metodice při vypracovávání bakalářské práce. Druhá kapitola se zabývá základními pojmy ve svařování a polohami při svařování. Třetí kapitola obsahuje výčet nejznámějších a nejpoužívanějších svařovacích metod s popisem každé z nich. V dalších kapitolách nalezneme aplikaci metod pro svařování železných a neželezných kovů a jejich slitin. V závěru lze nalézt souhrn vybraných metod a jejich vhodnost a využití pro jednotlivé materiály.

Vzhledem k omezenému rozsahu práce budou uvedeny jen nejpoužívanější a nejrozšířenější metody svařování. Ze stejného důvodu budou uvedeny jen některé neželezné kovy a jejich slitiny (Dillinger, 2007), (Minařík, 2003).

1 Cíl práce a metodika

Tato kapitola slouží k přiblížení zvoleného postupu a metod využitých pro zhotovení práce dle zadání.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je vytvořit rešerši na téma svařování železných a neželezných kovů a slitin.

Dále přiblížit čtenáři možnosti a metody jejich spojování. V závěru se práce zabývá porovnáním metod svařování a jejich vhodností pro svařování různých materiálů.

1.2 Metodika

Při vypracování rešerše bylo převážně pracováno s literárními podklady, které jsou dostupné v Národní technické knihovně. Dále bylo čerpáno z online databáze České agentury pro standardizaci a databáze ScienceDirect.

2 Základní pojmy

V této kapitole nalezneme vysvětlení důležitých vlastností a pojmů využívaných při svařování.

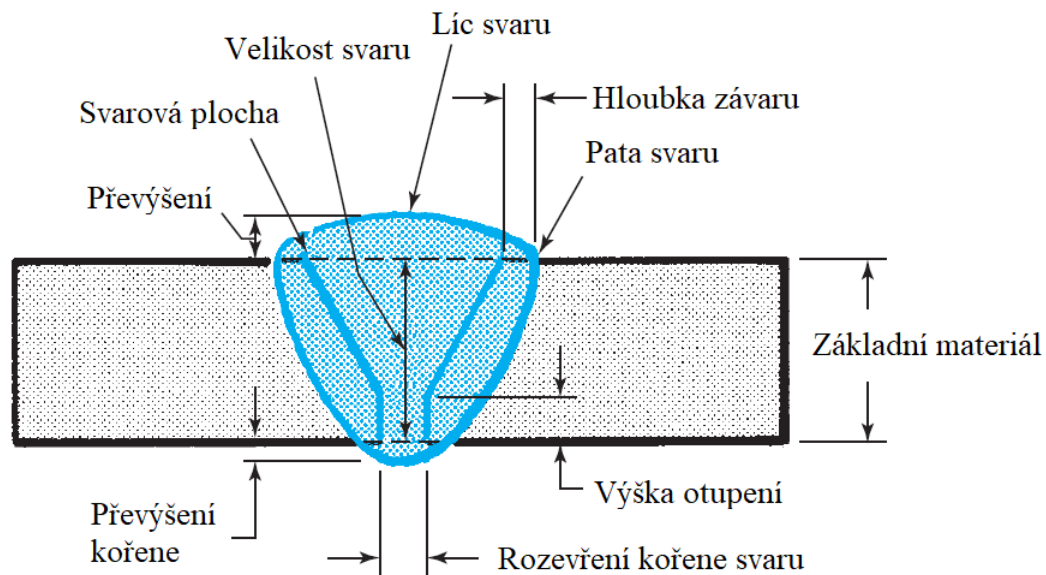
2.1 Svařitelnost a základní názvy svarového spoje

Svařitelnost je komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu pro zhotovení svaru s požadovaným účelem, při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje (ČSN 05 1310, 1973).

Svařitelnost kovu se rozděluje do 4 klasifikačních skupin:

- 1 a – zaručená (lze svařovat bez jakýchkoliv opatření),
 - 1 b – zaručeně podmíněná (lze svařovat za určitých podmínek, např. po předehřevu),
 - 2 – dobrá (při svařování vzniknou většinou vyhovující svarové spoje),
 - 3 – obtížná (většinou nevzniknou vyhovující spoje – nedoporučuje se svařovat),
- (Brožek, 2009), (Bartoš, 2000).

Při svařování se používají některé ustálené základní pojmy a terminologie. Tuto terminologii lze nalézt v normě ČSN 05 0000. Pro lepší pochopení obsahu práce, je na Obr. 1 znázorněná část této terminologie.



Obrázek 1 Základní názvy svařového spoje
Zdroj: Bohnart, 2018

2.2 Tepelně ovlivněná oblast při svařování

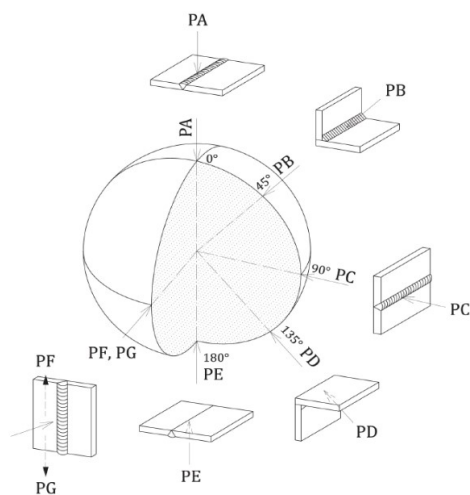
Tepelně ovlivněná oblast spoje je oblast, ve které dochází k mikrostrukturálním změnám v důsledku působení tepla uvolněného během procesu svařování. U svařování kovů a slitin u kterých nedochází k polymorfní přeměně, tj. nemění se struktura krystalické mřížky, nedochází ke změnám mikrostruktury. Probíhají pouze substrukturální změny, tj. růst zrn a rekrytalizace (např. měď, nikl a hliník). U kovů a slitin s polymorfní přeměnou (např. oceli) lze pozorovat výrazné strukturální změny, které ovlivňují vlastnosti svařového spoje.

Velikost a šířka jednotlivých pásem ovlivněné oblasti je rozdílná pro různé metody svařování a ve velké míře je závislá na svařovacích parametrech (Materiály a jejich svařitelnost, 2001).

2.3 Polohy svařování

Označením poloh svařování se zabývá ČSN EN ISO 6947. Tato norma definuje polohy svařování pro výrobu a zkoušení, pro koutové či tupé svary, všech tvarů výrobků.

Poloha svařování je poloha svaru v prostoru, která je určena vzhledem ke sklonu osy svaru a otočení lícové strany svaru vzhledem k vodorovné rovině (Obr. 2), (Balej, 2012).



Obrázek 2 Hlavní polohy svařování
Zdroj: ČSN EN ISO 6947

PA	poloha vodorovná shora
PB	poloha vodorovná šikmo shora
PC	poloha vodorovná
PD	poloha šikmo nad hlavou
PE	poloha vodorovná nad hlavou
PF	poloha svislá nahoru
PG	poloha svislá dolů

Poznámka: Plné šipky ukazují polohu svařování vzhledem k lícové straně svaru. Čerchované šipky pro PF a PG představují směr svařování.

3 Metody svařování

Druhy metod a jejich rozdělení nalezneme v normě ČSN EN ISO 4063.

Vzhledem k početnému množství metod, bude vybrán pouze výčet několika z nich.

Svařování lze rozdělit na dvě hlavní skupiny.

První skupinou je **tavné svařování**. Při procesu tavného svařování dochází k zahřátí a natavení kovu bez působení tlaku, a to s nebo bez použití přídavného materiálu.

Druhou skupinou je **tlakové svařování**. Při tlakovém svařování se využívá adekvátní síly pro způsobení plastické deformace přiléhajících svarových ploch. Nejčastěji probíhá bez použití přídavného materiálu. Pro usnadnění svařování lze využít místního ohřevu.

Metody tavného svařování

Níže lze nalézt výčet nejpoužívanějších metod tavného svařování. Konkrétně se bude jednat o ruční obloukové svařování, svařování v ochranné atmosféře a svařování v ochranné atmosféře s netavící se elektrodou.

3.1 Obloukové svařování

Obloukové svařování je založeno na principu využívání tepla uvolňovaného z elektrického oblouku, který hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem.

Teplo uvolňované z oblouku při jeho hoření taví kov, ze kterého je elektroda vyrobena a roztavuje povrch základního materiálu. Je důležité, aby byla zajištěna, pokud možno co nejmenší délka oblouku (Dillinger, 2007), (Minařík, 2003).

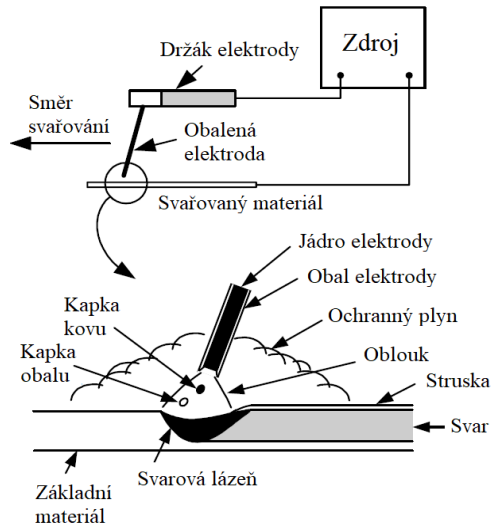
3.1.1 Ruční obloukové svařování

Metoda vychází z využívání tepla vytvořeného elektrickým obloukem, který vznikl mezi obalenou elektrodou a svařovaným materiálem (Obr. 3). Teplo uvolňující se z oblouku taví elektrodu a rozpouští obal. Plyny uvolněné z obalu zajišťují ochranu konce elektrody, oblouku, svarové lázně a místa svaru před kontaminací z okolní atmosféry. (Bohnart, 2017)

V průběhu svařování je doporučeno udržovat malou délku oblouku odpovídající přibližně průměru jádra použité elektrody.

Po následném zchladnutí vznikne homogenní svar mezi svařovanými díly.

Pro zapálení oblouku lze využít několika způsobů. Prvním z nich je dotyk elektrody se svařovaným materiálem a následným oddálením. Druhým způsobem je zapálení pomocí ionizátoru. (Dillinger, 2007)



Obrázek 3 Schéma obloukového svařování
Zdroj: Kou, 2003

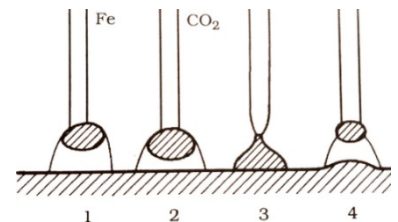
3.1.1.1 Přenos kovu a foukání oblouku

Přenos kovu z elektrody na materiál lze rozdělit na:

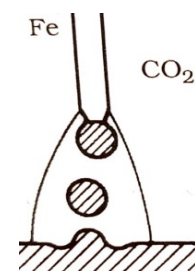
Zkratový – roztavená kapka kovu dotykem s tavnou lázní vytvoří zkrat mezi elektrodou a lázní, po přerušení se opět zapálí oblouk. Převážně se vyskytuje u bazických elektrod (Obr. 4).

Kapkový – dochází k odtavování menších kapek, přibližně 20 až 50 kapek za sekundu. Nedochází k vytvoření zkratů. Tento přenos se nejčastěji využívá při obloukovém svařování v ochranné atmosféře tvořené CO_2 (Obr. 5).

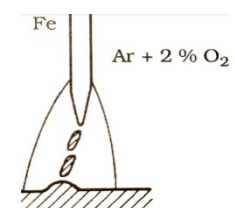
Sprchový – kapky kovu jsou jemně rozptýleny, tvoří „sprchu“ a pohybují se ve směru osy elektrody. Vzniká při vyšším proudu a delším oblouku. Je typický pro svařování v ochranné atmosféře obsahující argon (Obr.6), (Minařík, 2003).



Obrázek 4 Průběh zkratového přenosu kovu z oblouku
Zdroj: Minařík, 2003



Obrázek 5 Kapkový přenos
Zdroj: Minařík, 2003



Obrázek 6 Sprchový přenos
Zdroj: Minařík, 2003

Foukání oblouku je nežádoucí jev, který má za následek odchylování oblouku od normálního směru (v prodloužení osy) elektrody. Nejčastěji k němu dochází na počátku a na konci svarů, popřípadě v rozích. Zmenšení foukání lze docílit přemístěním uzemnění proti směru foukání, popřípadě nakloněním elektrody tak, aby byla vždy proti směru foukání. Foukání může být až tak velké, že oblouk ohřívá úplně jiné místo, než kam dopadá roztavený kov, (Minařík, 2003), (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.1.1.2 Zdroje pro ruční obloukové svařování

Zdroje pro ruční obloukové svařování lze rozdělit do čtyř hlavních skupin.

První jsou **točivé** neboli **rotační zdroje**, jedná se o soustavu elektromotor-dynamo, popřípadě diesel motor-dynamo. Tento typ zdroje je vhodný pro středně těžké až těžké provozy. Má dobré svařovací vlastnosti, snadné zapálení oblouku a velmi dobrou stabilitu hoření. Nevýhodou je jejich hlučnost, velká hmotnost a spotřeba elektrické energie.

Druhým typem jsou **transformátory**. Tento typ zdroje je v dnešní době nahrazován usměrňovači, své využití však zastává v „hobby“ provedeních, a to především díky nízké pořizovací ceně. Výhodou je možnost zapojení na síť 220 i 380 V, snadné zapálení oblouku, minimální údržba a jednoduchá obsluha.

Třetím typem jsou **usměrňovače**. Skládají se z transformátoru s usměrňovacím můstkem a tlumivky. Jejich předností jsou vynikající svařovací vlastnosti, univerzálnost a možnost volby pracovních charakteristik. V dnešní době se jedná o optimální svařovací zdroj.

Čtvrtým a posledním typem jsou **inventory**. Velkou výhodou inventorů je jejich hmotnost, která je přibližně desetkrát menší než u usměrňovačů. Díky tomu lze inventory snadno přenášet. Inventory mají do budoucna velkou perspektivu (Bartoš, 2000), (Brožek, 2009).

3.1.1.3 Přídavný materiál

Jako přídavný materiál se využívá obalených elektrod. Elektroda se skládá z jádra a obalu.

Jádro elektrody tvoří drát, který se při svařování roztaví a vytvoří svarovou housenku.

Při svařování se obal postupně rozpouští a uvolňuje plyny, jejichž hlavní funkcí je chránit nově vzniklý svar před negativními účinky okolní atmosféry a stabilizovat elektrický oblouk.

Na povrchu svaru se vytvoří struska, která je tvořená ze zbytků roztaveného obalu.

Tato vrstva chrání svar před tvorbou okují (oxidací) a před prudkým ochlazením, které by mělo za následek zkřehnutí materiálu. Obvykle obal obsahuje i další legující prvky, které zlepšují pevnost a houževnatost svaru, (Dillinger, 2007).

Dle druhu obalu lze elektrody rozdělit na elektrody kyselé (K), rutilové (R), bazické (B), speciální (S), bazicko-rutilické (BR), kyselo-rutilické (KR), celulózové (C), oxidační (O) a grafitové (G).

Značení elektrod je dáno normou ČSN 05 5010. V praxi každý výrobce využívá své firemní označení elektrod, které lze dohledat v katalogu firmy. (Brožek, 2009)

3.1.1.4 Výhody a nevýhody metody

Výhodou metody je jednoduchost a přenosnost vybavení. Oproti jiným obloukovým metodám je relativně levnější. Díky tomuto se tato metoda využívá pro údržby, terénní opravy a stavby. Mezi nevýhody této metody lze zařadit nutnost výměn elektrod při svařování, čímž klesá produktivita metody, (Kou, 2003). Další nevýhodou je vysoká závislost jakosti svaru na lidském faktoru (zkušenosti a zručnost svářeče), popřípadě vysoká pracnost metody, (Brožek, 2009).

3.1.2 Svařování v ochranné atmosféře

Oblouk hoří obklopen ochranným plynem, který zamezuje přístupu vzdušného kyslíku a dusíku do odtavující se kapky přídavného materiálu, elektrody, oblouku a tavné lázně.

Plyny by mohly způsobit nežádoucí ovlivnění výsledného svaru a oxidaci, (Technologie svařování a zařízení, 2001)

3.1.2.1 Druhy ochranných plynů

Při svařování v ochranné atmosféře můžeme využít dva druhy ochranného plynu.

První druh se nazývá inertní a druhý aktivní. Jak již název naznačuje, inertní plyny neboli netečné plyny nereagují s taveninou svarové lázně během svařování a jejich úkolem je chránit nově vzniklý svar a základní materiál před oxidací. Typický představitelem je například argon (Ar), helium (He) a jejich směsi.

Naopak plyny aktivní se podílejí na procesech v elektrickém oblouku, za účelem ochrany nebo vylepšení vlastností svaru. Mezi představitele lze zařadit CO₂, směsi plynů Ar a CO₂, (Dolejský, 2012).

Požadavky a klasifikaci plynů a jejich směsí využívaných při tavném svařování a příbuzných procesech stanovuje norma ČSN EN ISO 14175.

3.1.2.2 Způsoby přenosu kovů v elektrickém oblouku

Rozdělením přenosu kovů v elektrickém oblouku se věnuje norma ČSN EN ISO 4063.

➤ **D – zkratový přenos kovů**

Tento druh přenosu lze využít u metody MIG/MAG pro svaření tenkých plechů, kořenové části svaru nebo v polohách.

Velkou nevýhodou tohoto přenosu je velký rozstřík kovu. Jedná se o nejpoužívanější přenos.

➤ **G – Kapkový přenos kovů**

Vhodný pro metodu MIG/MAG. Kapky roztaveného kovu se nedotknou před oddělením od elektrody svarové lázně, díky čemuž nedochází ke zkratu. Objevuje se při použití směsných ochranných plynů.

➤ **S – sprchový přenos kovů**

Tento typ přenosu nelze použít v ochranném plynu CO₂, ale pouze ve směsných a interních plynech. Kvůli vysoké proudové hustotě a tepelnému příkonu je vhodný spíše pro polohu vodorovně shora. Výhodou je malý rozstřík kovu. Přenos kovu je formou velkého počtu malých kapek.

➤ **P – Impulzní přenos kovů**

Proces je řízen mikroprocesorem svářečského zdroje. Při použití plynu skupiny M je vhodný pro metodu MAG. Výhodou je malý rozstřík a nízké tepelné zatížení svarku. Přenos je formou velkých kapek, (ČSN EN ISO 4063, 2011), (Dolejský, 2012).

3.1.3 MIG/MAG (Metal-Inert-Gas/Metal-Active-Gas)

Metoda využívá elektrického oblouku, který hoří mezi postupně se odtavující elektrodou, která má podobu drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře (Obr. 7).

Při svařování lze využít dva typy ochranné atmosféry. První typ je **inertní atmosféra** (MIG) a druhý typ je **aktivní atmosféra** (MAG).

Zda je atmosféra inertní nebo aktivní závisí na druhu použitého plynu. Při svařování je drát napájen pomocí třetího kontaktu umístěného v ústí hořáku. V průběhu svařování je třeba zajistit co nejkratší zatěžující délku hořáku.

Velikost svařovacích proudů se u této metody pohybují od 30 A při svařování tenkých plechů až do 800 A při vysokovýkonných mechanizovaných metodách. Velikost svařovacího proudu se odvíjí od rychlosti podávání drátu. Lze tedy říci, že s rostoucí rychlostí podávání drátu, roste i svařovací proud.

Teploty kapek roztaveného kovu se u metody MAG pohybují v rozmezí 1700 °C–2500 °C, s teplotou tavné lázně v rozmezí 1600 °C–2100 °C, (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.1.3.1 Druhy přídavných materiálů

Přídavný materiál pro metodu MIG/MAG je nejčastěji v podobě drátu stočeného do cívky.

U metody MAG lze místo drátu použít trubičky plněné metalickým práškem.

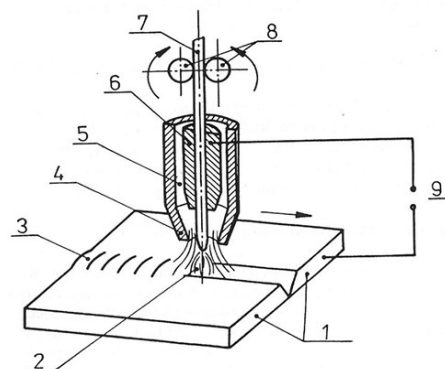
Tento druh přídavného materiálu se však využívá jen výjimečně.

Drát je opatřen měděným povlakem nebo vyleštěn pro zajištění lepšího přenosu proudu. Měděná úprava drátu zajišťuje i korozivzdornost drátu, (Dolejský, 2012).

3.1.3.2 Rozdělení ochranných plynů

Přesnějším rozdělení plynů se věnuje norma ČSN EN ISO 14175, která plyny dělí do 7 hlavních skupin a následně do podskupin na základě přítomnosti a úrovně různých složek.

Rozdělení dle ČSN EN ISO 14175 z 2009:



Obrázek 7 Schéma metody MIG/MAG
1 – Základní materiál, 2 – Oblouk, 3 – Svar,
4 – Plynová trubice, 5 – Ochranný plyn,
6 – Kontaktní průvlak, 7 – Přídavný drát,
8 – Podávací kladky, 9 – Zdroj proudu
Zdroj: Dolejský, 2012

- I: inertní plyny a inertní směsi plynů
- M1, M2 a M3: oxidační směsi obsahující kyslík a/nebo oxid uhličitý
- C: vysoce oxidační plyny a vysoce oxidační směsi
- R: redukční směsi plynů
- N: plyn s malou reaktivitou nebo redukční směsi plynů obsahující dusík
- O: kyslík
- Z: směsi plynů obsahující neuvedené složky nebo směsi se složením mimo rozsah

Pro svařovací metodu MAG se používají plyny skupiny M a C. Pro metodu MIG se využívají skupiny I, (ČSN EN ISO 14175, 2009).

3.1.3.3 Výhody a nevýhody metody

Mezi hlavní výhody metody MAG patří stabilní ochrana závaru, a to především díky hustotě a specifické hmotnosti CO₂. Další výhodou je velký průvar, úzký svar a velká bezpečnost proti vzniku pórů.

Mezi nevýhody lze zařadit nutnost zajištění bezvětrných podmínek při svařování, a to z důvodu možného odfouknutí ochranné atmosféry. Další nevýhodou je vyšší cena zdroje a jeho náročnější obsluha, (Minařík, 2003).

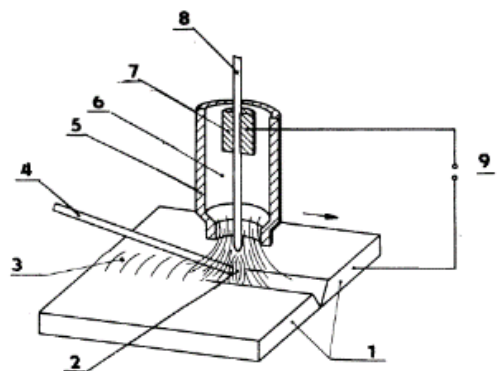
3.1.4 TIG (Tungsten Inert Gas)

Svařování metodou TIG spočívá v hoření elektrického oblouku, který vznikl mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Wolframová elektroda se při svařování netaví. Během celého procesu na svarovou lázeň, elektrodu a okolí svaru působí inertní ochranná atmosféra, která svar chrání před účinky okolní atmosféry (Obr. 8).

Nejčastěji se ochranná atmosféra tvoří z argonu, helia, popřípadě jejich směs, podobně jako u metody MIG (Balej, 2012).

3.1.4.1 Netavící se elektroda

Netavící se elektroda pro metodu TIG má tvar tyčky o kruhovém průřezu.



Obrázek 8 Schéma svařování metodou TIG
 1 – Svařovaný materiál, 2 – Elektrický oblouk,
 3 – Svar, 4 – Přídavný materiál, 5 – Plynová hubice,
 6 – Ochranný plyn, 7 – Kontaktní kleština,
 8 – Wolframová elektroda, 9 – Zdroj proudu

Zdroj: Technologie svařování a zařízení, 2001

Jejím hlavním úkolem je přivést elektrický proud do místa svařování, koncentrovat a směřovat elektrický oblouk na místo svařování.

Elektrody se zhotovují z čistého wolframu či z wolframu legovaného oxidy (ThO_2 , ZrO_2 , LaO_2 , CeO_2).

Hlavním důvodem použití wolframu na výrobu netavící elektrody je jeho vysoká teplota tavení činící $3410\text{ }^\circ\text{C}$ a jeho velké emisní schopnosti. Legováním elektrody dosáhneme vyšších teplot tavení elektrody nebo zvýšení proudové a tepelné zatížitelnosti. Žhavicí teplota pro elektrodu legovanou oxidem lanthanu se přibližuje k hodnotě $4200\text{ }^\circ\text{C}$. S legovanými elektrodami se také zlepši zapalování, stabilita oblouku, trvanlivost elektrody a výdrž většího proudového zatížení. Volba typu elektrody závisí na použitém proudu a na požadované kvalitě svaru (Balej, 2012). Značením elektrod se zabývá dnes již neplatná norma ČSN EN 26848.

3.1.4.2 Ochranné plyny

Hlavní funkcí ochranných plynů při svařování metodou TIG je chránit netavící se elektrodu, tavnou lázeň a základní materiály před vlivy okolní atmosféry. U metody TIG se využívají inertní ochranné plyny, to znamená že nereagují s jinými chemickými prvky. Jako ochranné plyny se využívají argon (Ar), helium (He) popřípadě jejich směsi. Vzhledem k vysoké ceně těchto plynů je vždy nutné uvážit, jaký ochranný plyn použít pro konkrétní základní materiál.

Argon nemá chuť, je bezbarvý a bez zápachu. Oproti vzduchu je těžší. Argon lze získat zkapalněním vzduchu, především díky tomu, že je v něm nejvíce obsažen. Při použití argonu jako ochranného plynu docílíme snadnějšího zapalování oblouku a jeho lepší stability. Takto získaný však obsahuje řadu nečistot (dusík, vodík, kyslík a vlhkost), které zhoršují kvalitu svarového spoje a je třeba jej čistit. Pro metodu TIG se využívá argon o vysoké čistotě 99,7 až 99,99 %. Argon s nejvyšší čistotou se využívá pouze na materiály citlivé na přítomnost dusíku a kyslíku, především kvůli jeho vysokým cenám.

Helium nemá chuť, barvu či zápach. Oproti vzduchu je lehčí. Helium lze získat pomocí štěpení zemního plynu, popřípadě zahříváním minerálů bohatých na helium (např. cleveit, monazit a thorianit). Při využití hélia jako ochranného plynu je zapotřebí dvojnásobně vyššího svařovacího napětí než u argonu. Avšak oproti argonu poskytuje helium mnohem vyšší tepelný výkon díky čemuž je možné dosáhnout vyšších svařovacích rychlostí. Při použití hélia jako ochranného plynu bude oblouk hůře zapalitelný, jeho stabilita bude horší a oblouk bude hořet neklidně. Helium obsahuje nečistoty, které jsou převážně jiné vzácné plyny.

Směs argonu a helia, obsah hélia ve směsi je v rozmezí od 1 do 95 %. Při zvyšování obsahu hélia ve směsi lze dosáhnout vyšších svařovacích rychlostí. Nejčastější poměry Ar/He jsou 70/30, 50/50, 30/70. (Balej, 2012).

3.1.4.3 Přídavný materiál

Pro svařování metodou TIG existují dva typy přídavných materiálů.

Prvním typem jsou **svařovací tyčinky**. Jedná se o dráty o délce v rozmezí 600 až 1000 mm s průměrem 1 až 8 mm. Mají plný průřez nebo jsou plněné legujícími prvky.

Druhým typem jsou **svařovací dráty**. Jedná se o drát s průměrem od 0,6 až 2,4 mm (v případě navařování dokonce i 5 mm) který je navinutý na cívce.

Přídavné materiály plní mnoho funkcí. Vytváří požadovaný tvar svaru, legují svarový kov díky čemuž se zvyšuje odolnost svaru proti vzniku trhlin či dutin a zlepšují formování svaru, (Technologie svařování a zařízení, 2001), (Balej, 2012).

3.1.4.4 Výhody a nevýhody metody

Mezi výhody metody TIG patří stabilita oblouku a výborné vlastnosti svaru (pevnost, vzhled). Další velkou výhodou je možnost svařovat velké množství materiálů. Kromě olova a zinku lze svařit všechny svařitelné materiály. Svařování lze provést ve všech polohách. Metodu je možné snadno automatizovat.

Mezi nevýhody lze zařadit omezení tloušťky svařovaného materiálu. Svařování metodou TIG je vhodné pro plechy o tloušťkách od 0,5 mm do 3 mm. Oproti jiným metodám je TIG pomalejší a časově náročnější. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena a potřeba zkušených svářečů, (Weman, 2003).

3.2 Plamenové svařování

Při svařování plamenem jsou svařované díly nataveny plamenem, který vzniká spalováním směsi hořlavého plynu (propan, acetylén) a kyslíku v hořáku.

Teplota kyslíko-acetylénového plamene je přibližně 3200 °C.

Hořlavý plyn i kyslík jsou skladovány v ocelových tlakových lahvích a pomocí redukčních ventilů s hadicemi jsou přiváděny do hořáku.

Pro zajištění bezpečné identifikace obsahu lahve jsou lahve barevně značeny a disponují různými závity. Označením tlakových lahví se zabývá ČSN EN 1089-3

Kvůli velkému tepelnému ovlivnění svařovaných ploch se v dnešní době tato metoda používá spíše jen při malých opravách. Svařovat plamenem lze ve všech polohách.

Jako přídatný materiál se používá svařovací drát, který vyplňuje svařovací spáru. Dráty se dělí do tříd (I-V) dle obsahu legujících prvků, například molybdenu (Mo), niklu (Ni) či mědi (Cr) a označení bývá vyraženo do těla drátu, (Dillinger, 2007).

3.2.1 Postup plamenového svařování

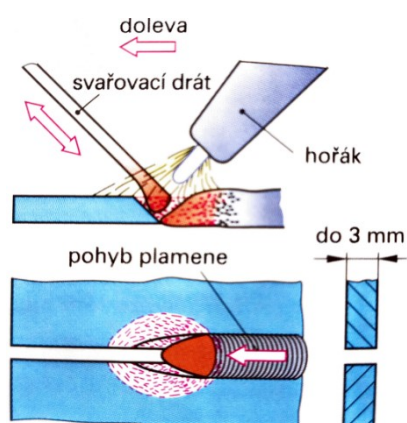
Při shodném sklonu svařovacího drátu a hořáku je možné svařovat těmito způsoby:

Svařování doleva (vpřed)

Při svařování doleva míří plamen dopředu ve směru svaru a svarová lázeň se nachází mimo nejteplejší část plamene. Díky tomu může být menší.

Postup je vhodný pro svařování tenčích plechů s průřezem do 3 mm. Svařovací drát zabraňuje protavení kořene svaru. Nasměrováním plamene dopředu se místo dříve přehřeje a je možné zrychlit svařování. Dále se zmenšují deformace způsobené zahříváním a ochlazováním při svaření. Během

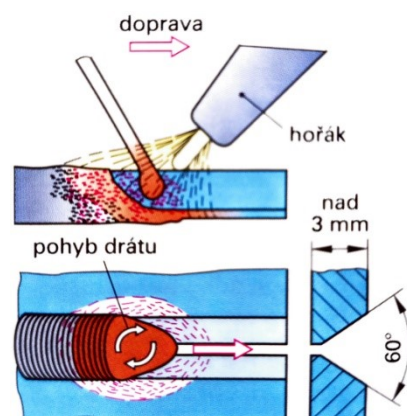
svařování je potřeba přídatným drátem kývat tak, aby se dosáhlo žádané podoby a kvality svaru (Obr. 9).



Obrázek 9 Znárodnění svařování doleva
Zdroj: Dillinger, 2007

Svařování doprava (vzad)

Tato metoda je vhodná spíše pro tlustší plechy, které pro své prohřátí potřebují mnohem více tepla než svařovací drát. Plamen směřuje přímo do svarové lázně, která je větší než u tenčích plechů. Housenka je prohřívána déle a déle chladne, díky tomuto je svar houževnatější. Při provádění svaru je třeba přídatným drátem pohybovat tak, aby se vytvořila požadovaná housenka (Obr. 10), (Dillinger, 2007).



Obrázek 10 Znárodnění svařování doprava
Zdroj: Dillinger, 2007

3.2.2 Svařovací plamen hořáku

Plamen vzniká zapálením směsi vzduchu, potažmo kyslíku a hořlavého plynu ve svařovacím hořáku. Nejčastěji se jedná o směs kyslíku a acetylenu. Hořlavý plyn a kyslík mohou být směřovány v různém poměru. Díky tomu lze dosáhnout různých vlastností plamene.

Dle poměrů těchto plynů, lze plamen rozdělit na:

- Neutrální plamen – vyrovnané složení kyslíku a acetylenu
– směšovací poměr ($O_2: C_2H_2$) je 1 až 1,1: 1
- Redukční plamen – obsahuje více acetylenu (vhodný pro litiny)
– směšovací poměr ($O_2: C_2H_2$) je $<1:1$
- Oxidační plamen – více kyslíku (vhodný pro bronzy a mosaz)
– směšovací poměr ($O_2: C_2H_2$) je $>1,2: 1$

Plamen lze rozdělit i dle výstupní rychlosti plynů, a to na:

- Měkký plamen – jedná se o pomalý plamen, náchylný ke zpětnému šlehnutí
- Střední plamen – tzv. normální
- Ostrý plamen – má velkou účinnost a rychlost dosahující až 120 m/s
(Minařík, 2014).

3.2.3 Výhody a nevýhody metody

Hlavní výhodou plamenového svařování je jednoduchost vybavení, jeho přenosnost a nízká cena. Další výhodou je snadná údržba a opravy.

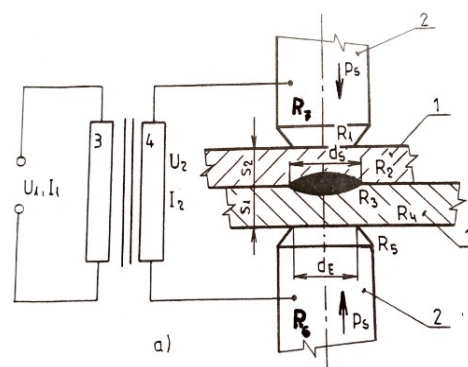
Mezi nevýhody patří nízká svařovací rychlost a velká spotřeba plynu a tepla. Další nevýhodou je velké tepelné ovlivnění svařovaných materiálů, (Kou, 2003).

Tlakové svařování

Níže lze nalézt výčet nejpoužívanějších metod tlakového svařování. Konkrétně se bude jednat o odporové bodové svařování, švové svařování a třecí svařování promíšením.

3.3 Odporové svařování

Jedná se o jednu z nejstarších metod svařování. Principem odporového svařování je protékání elektrického proudu místem, které chceme svařit. To má za následek místní ohřev materiálu, který se stane tvárným a popřípadě se roztaví. Následně se materiál za působení tlaku stlačí a díky tomu se vytvoří svar. U bodového svařování se vytvoří čoučka. Zdrojem tepla je elektrický odpor ve stykovém místě svařovaných materiálů tzv. přechodový odpor (Obr. 11).



Obrázek 11 Schéma bodového odporového svařování se znázorněním odporů
Zdroj: Technologie svařování a zařízení, 2001

Metody odporového svařování jsou rychlé, efektivní a málo znečišťující.

Není zapotřebí přídavných materiálů jako u metod tavného svařování.

Nevýhodou může být vysoká pořizovací cena nebo omezený rozsah strojů, kdy každý stroj může být využit pouze pro jeden typ svaru (Weman, 2003).

3.3.1 Odporové svařování bodové

Bodové svařování je nejznámější metoda odporového svařování.

Využívá se ke spojení tenkých plechů (maximálně 3+3 mm) pomocí tzv. překlátování.

Své využití má například v automobilovém průmyslu.

3.3.1.1 Stanovení tepla a odporu při svařování

Odporové teplo vzniklé při svařování lze vyjádřit vztahem $Q=0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$,

kdy R je elektrický odpor [Ω] složený z několika složek odporu, I je proud [A] a t je doba průchodu proudu [s].

Celkový odpor se skládá ze sumy odporů, tudíž $R=\sum R=R_1+R_2+R_3+R_4+R_5+R_6+R_7$.

Kdy R_1 a R_5 je přechodový odpor měděných elektrod a svařovaného plechu, R_2 a R_4 je vlastní odpor svařovaného materiálu, R_3 je přechodový odpor mezi svařovaným materiálem, R_6 a R_7 jsou odpory v elektrodách (Obr. 8), (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.3.1.2 Parametry svařování

Parametry svařování mají velký vliv u všech metod odporového svařování, především z důvodu ovlivnění vlastností výsledného svaru. Jednotlivé metody mají různé parametry.

U bodového svařování jsou hlavními parametry svařovací proud (I_s), přítláčná síla (F_s) a svařovací čas (t_s).

Při švovém svařování budou dalšími parametry například rychlost svařování a popřípadě modulace svařovacího proudu, (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.3.1.3 Měkký a tvrdý režim svařování

U odporového svařování lze rozlišit dva způsoby dodání stejného množství tepla do svaru.

První z nich je dodávání vysokého svařovacího proudu s krátkým časem svařování tzv. **tvrdý režim**.

Druhým způsobem je dodávání nižšího svařovacího proudu, avšak s delším svařovacím časem tzv. **měkký režim**. Při využití tvrdého režimu je zapotřebí větších přítláčných sil, kdežto při použití měkkého režimu je díky delšímu času na zahřátí materiálu zapotřebí pouze menších přítláčných sil, (Technologie svařování a zařízení, 2001).

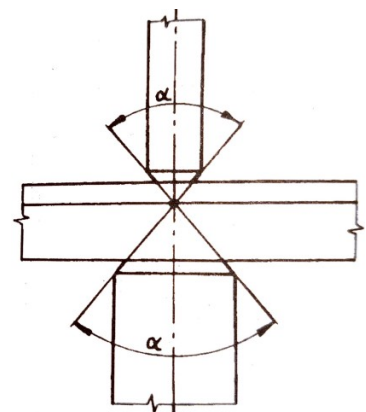
3.3.1.4 Tepelná rovnováha

Tepelná rovnováha při svařování znatelně ovlivňuje rovnoměrnost provaření svařovaných součástí. Velkou roli má tepelná rovnováha při svařování dvou rozdílných materiálů, popřípadě při svařování materiálů o rozdílné tloušťce.

Tepelné rovnováhy lze dosáhnout několika způsoby.

Například správnou volbou průměru elektrod, kdy při svařování materiálů o různých tloušťkách zvolím na stranu, kde je materiál tlustší, elektrodu o větším průměru (Obr. 12).

Dále je také důležité vzít v úvahu vzdálenost svaru od jiného svaru nebo svaru od konce plechu, (Technologie svařování a zařízení, 2001).



Obrázek 12 Tepelná rovnováha s rozdílnými elektrodami
Zdroj: Brožek, 2009

3.3.1.5 Výhody a nevýhody

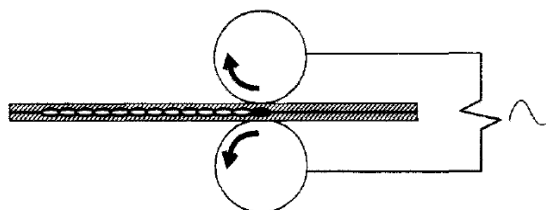
Mezi výhody bodového svařování lze zařadit rychlost svařování, jednoduchost obsluhy a jednoduchou automatizaci, (Weman, 2003).

Svařovat lze ve všech polohách a lze svařit většinu kovových materiálů.

Mezi nevýhody lze zařadit fakt, že bodové svary nemají vysokou pevnost při namáhání krutem, (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.3.2 Švové svařování

Při švovém svařování prochází svařované materiály mezi dvěma koly, která jsou k sobě přitlačována a zároveň jimi protéká proud (Obr. 13). Kola by měla mít stejnou velikost, aby nedocházelo k vyhýbání a deformaci plechů. Tvar kontaktních ploch může být různý, záleží na potřebách a požadavcích na tvar svaru.



Obrázek 13 Schéma švového svařování
Zdroj: Weman, 2003

Výstupem je kontinuální, nepřerušovaný svar, (Weman, 2003).

Existují i další varianty této metody například výstupkové odporové svařování a stykové odporové svařování. Z důvodů omezeného rozsahu je uveden pouze krátký popis jedné z variant.

3.4 Třecí svařování

Třecí svařování je proces, při kterém se spojované díly zahřívají na svařovací teplotu, pomocí přeměny energie mechanické na energii tepelnou za současného tření povrchů.

Přičemž intenzita tepla, které je uvolňováno, je dána třecím výkonem, určeným přitlačnou silou, vzájemnou rychlostí ploch a koeficientem tření. Množství tepla je závislé na době tření při předepsaných podmínkách (rychlost, tlak) (Technologie svařování a zařízení, 2001).

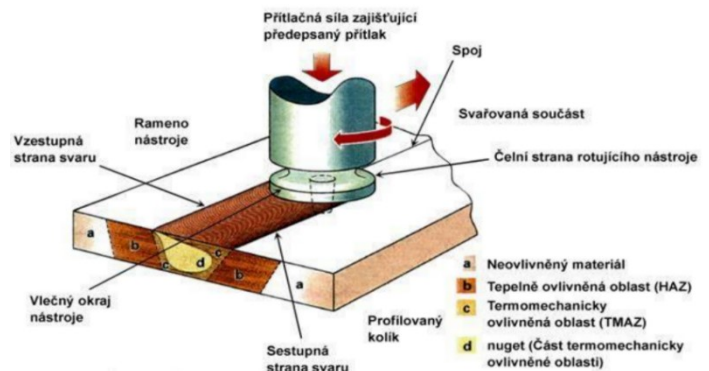
Jednou z výhod metod třecího svařování je skutečnost, že při vytváření svarového spoje nedochází k tavení materiálu, tudíž není možný výskyt nedokonalostí charakteristických pro metody tavného svařování. Jedná se například o pórovitost, struskovité vměstky a praskání při tuhnutí. Další výhodou je absence přídavného materiálu, (Phillips, 2016).

Třecím svařováním lze svařit materiály tavným způsobem nesvařitelné například, hliník se zirkonem, wolframem, titanem, hořčíkem aj. Popřípadě lze spojovat i sklo a keramiku s kovy, (Technologie svařování a zařízení, 2001).

3.4.1 Třecí svařování promíšením

Metoda vychází z rotace nástroje se speciálně navrženým třecím hrotem a třecím ramenem ponořeným do mezery mezi svařované desky a jeho pohybem podél svařované linie (Obr. 14).

Nástroj vykonává dvě hlavní funkce. První funkce je zahřívání materiálu. Druhá funkce je mísení materiálu sloužící k vytvoření spoje.



Obrázek 14 Schéma třecího svařování
Zdroj: Šebestová

Zahřátí je zajištěno pomocí tření a plastické deformace mezi nástrojem a povrchem svařovaného materiálu. Místní zahřátí způsobí změkčení materiálu a rotace nástroje způsobí přesun částic materiálu z vrcholu třecího hrotu na jeho konec. Během třecího svařování promíšením, materiál podstoupí intenzivní plastické deformace při zvýšených teplotách, to má za následek kvalitní a pevný svar.

Třecí svařování promíšením se považuje za velmi pokrokovou metodu v oboru spojování kovů, a to především díky její energetické efektivnosti, nízkému dopadu na životní prostředí a všestrannosti. Oproti „běžným“ metodám svařování není zapotřebí užití ochranných atmosfér či přídavných materiálů, (Mishra, 2005).

3.4.1.1 Výhody a nevýhody metody

Velkou výhodou metody je skutečnost, že svar je vysoké kvality. Metoda může být využita i pro slitiny, u kterých hrozí riziko popraskání při obloukovém svařování. Metoda je málo hlučná a nevytváří kouř při svařování. Další výhodou je absence ochranné atmosféry či přídavného materiálu. Metodu lze snadno automatizovat, a to díky faktu, že může být prováděna na speciálních centrech, která mohou vykonávat několik úkonů.

Mezi nevýhody metody patří viditelné zanechání stopy nástroje na konci svaru.

Další nevýhodou je potřeba pevného upnutí svařovaných materiálů, (Weman, 2003).

3.5 Speciální metody svařování

V této podkapitole, lze nalézt některé speciální metody svařování. Jedná se o metody méně používané a z tohoto důvodu je jim také věnována pouze menší část.

3.5.1 Ultrasonické svařování

Principem metody je svařování pomocí vysokofrekvenčních vibrací a tlaků na materiály umístěné proti sobě. Do určité míry jsou stroje potřebné pro tuto metodu shodné se stroji pro odporové svařování, s tím rozdílem, že v této metodě se využívá vibrací, nikoliv elektrického odporu k vytvoření svaru. Tato metoda je vhodná pro svařování plechů a materiálů o malých tloušťkách, popřípadě drátů, (Weman, 2003).

3.5.2 Svařování pomocí paprsku

Metoda je založená na využití laserového nebo elektronového paprsku, který slouží k přenosu energie. Tato energie se přeměňuje na teplo vzniklé při dopadu paprsku na povrch materiálu. Díky malému průřezu paprsku a jeho velké energii, je svar velice úzký a není třeba použití přídavného materiálu. Většinou se využívá ochranných plynů.

Využití je v letectví, automobilovém průmyslu, svařování dílů a přístrojů, (Dillinger, 2007).

3.5.3 Svařování výbuchem

Při svařování výbuchem dochází k vytvoření velmi vysokého tlaku za krátký čas. Svařované díly jsou pomocí výbuchu uvedeny do rychlého pohybu proti sobě.

Energie vytvořená při nárazu způsobí plasticitu materiálů a následný svar. Metoda se často využívá pro spojování materiálů, které jsou jinými metodami obtížně svařitelné např. hliník s ocelí, (Weman, 2003).

4 Specifika svařování železných kovů a slitin

Železné kovy jsou slitiny železa a uhlíku, popřípadě i dalších legujících prvků. Železné kovy lze rozdělit na dvě hlavní skupiny. První jsou oceli, obsahující méně než 2 % uhlíku a druhou skupinou jsou litiny obsahující 2-4 % uhlíku.

4.1 Svařování ocelí

Oceli jsou stále nejběžnější komerčně vyráběnou slitinou kovů. Tvoří více než 90 % kovů vyrobených a používaných na Zemi (Phillips, 2016). Ocel je materiál, který má větší hmotnostní podíl železa než kteréhokoliv jiného prvku. Obsah uhlíku je menší než 2 %, a ve složení lze nalézt i další prvky. Některé chromové ocele mohou obsahovat i více než 2 % uhlíku, ovšem obvyklá mezní hranice mezi ocelí a litinou jsou 2 %, (ČSN EN 10020, 2001).

4.1.1 Svařování obalenou elektrodou

Při svařování uhlíkových ocelí je důležité, aby obsah uhlíku nepřesáhl 0,22 %. V takovém případě je ocel považována za dobře svařitelnou. Svařitelnost se zhoršuje s rostoucí tloušťkou materiálu. Pokud by tloušťka materiálu přesáhla 25 mm, je nutné použití předehřevu (obvykle na teplotu 100 až 250 °C). Předehřev zpomalí rychlost ochlazení a bude mít pozitivní vliv na vnitřní napětí ve svaru. Oceli s obsahem uhlíku do 0,5 % jsou podmíněně svařitelné a vyžadují předehřev na teplotu 100 až 250 °C. Oceli s obsahem nad 0,5 % jsou obtížně svařitelné a vyžadují specifický technologický postup.

Pro svařování nízkolegovaných a střednělegovaných ocelí je zapotřebí předehřev, pomalé zchladnutí a případně tepelné zpracování po provedení svaru, (Minařík, 2003), (Bartoš, 2000).

4.1.2 Svařování metodou MAG

Pro svařování nelegovaných, popřípadě nízkolegovaných ocelí se využívá plynů na bázi argonu s obsahem CO₂ (obsah CO₂ od 10 do 25 %). Díky tomu lze dosáhnout hlubšího závaru a snížit riziko vzniku pórů.

V technické praxi se ke svařování ocelí využívají směsné plyny na bázi argonu s kyslíkem (obsah kyslíku od 1 do 5 %). Díky obsahu kyslíku v oblouku lze dosáhnout sprchového přenosu při nižším svařovacím proudu.

Obsah kyslíku vede k široké, mírně převýšené housence s povrchem ve tvaru jemných šupinek, rozstřík kovu je malý a teplota svarové lázně je mírně zvýšená.

Existují i tříložkové směsné plyny. Obvykle obsahují CO₂ (5 až 14 %), kyslík (3 až 6 %) a argon, tvořící zbytek směsi. Jsou vhodné pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Lze je využít i na svařování austenitické chromniklové oceli s korozní odolností, obsah CO₂ však nesmí klesnout pod 5 %. Jsou vhodné pro svařování tenkých plechů, popřípadě pro překlenutí větších spár, (Minařík, 2003).

4.1.3 Svařování metodou TIG

Metoda TIG se využívá pro svařování chromniklových ocelí (nerezové oceli), nízkolegovaných a vysokolegovaných austenitických ocelí, (Balej, 2012).

Využívá se stejnosměrný proud a přímé zapojení (netavící se elektroda je zapojená na záporném pólu). Jako ochranný plyn se nejčastěji užívá čistý argon, popřípadě pro zvýšení rychlosti svařování, směsi argonu a helia. U automatizovaného svařování se využívá směsi argonu a vodíku. Díky tomu se zvýší průvar, dobře se provařuje kořen svaru, zvyšuje se svařovací rychlost a životnost netavící se elektrody.

Použití metody pro svařování uhlíkových ocelí by bylo neekonomické a hrozilo by riziko výskytu pórů ve svaru, (Minařík, 2003).

4.1.4 Plamenové svařování

Pro plamenové svařování ocelí se nejčastěji využívá směs acetylenu a kyslíku. Obvykle se pro svařování využívá neutrálního plamene, který má oslnivě bílou barvu a ostře ohraničené hrany. Lze využít i redukční plamen, který se využívá pro svařování ocelí o vyšší pevnosti. Redukční plamen je charakteristický svým bělavým závojem a prodloužením špičky plamene, (Minařík, 2014).

4.2 Svařování litiny s lupínkovým grafitem (šedá litina)

Pro svůj vysoký obsah uhlíku ve struktuře je obtížně svařitelná. Svařování se využívá převážně jen při opravách. Šedá litina obsahuje přibližně 3,8 % uhlíku a její teplota tavení je přibližně 1200 °C, (Minařík, 2014).

Šedá litina je špatný vodič tepla a má náhlý přechod z pevného stavu do tekutého, (Minařík, 2003).

4.2.1 Svařování obalenou elektrodou

Litinu lze svařovat za studena nebo za tepla.

Při **svařování za studena** se využívají elektrody, které podporují grafitizaci šedé litiny.

Tyto elektrody obsahují prvky jako křemík (Si), měď (Cu) a nikl (Ni). Lze využít i speciálních elektrod, například elektrody niklové (tzv. nikelitky), monelové (70 % Ni + 30 % Cu) nebo bimetalové (Ni + Cu, Cu + Fe, Ni + Fe). Pro omezení vnitřního pnutí se součást předeřívá na teplotu 200 až 300 °C a po svaření velmi pomalu chladne. Při užití ocelových elektrod se v přechodovém pásmu svaru mohou vyskytovat tvrdá a křehká pásma s trhlinami.

Při **svařování za tepla** se součást ohřívá na teplotu 600 až 650 °C a po svaření pomalu chladne. Jako přídavný materiál se využívá elektrody ze šedé litiny se zvýšeným obsahem křemíku. Tato metoda je velmi náročná a využívá se povětšinou jen ve slévárenství při opravách tlustostěnných odlitků ve vodorovné poloze, (Minařík, 2003).

4.2.2 Plamenové svařování

Při plamenovém svařování se využívá předehřevu materiálu na teplotu 550 až 650 °C.

Pokud by došlo k poklesnutí teploty při svařování pod 400 °C, svařování se přerušuje.

Ve svařování se pokračuje v okamžiku, kdy se znovu dosáhne teploty předehřevu.

Předehřev se uskutečňuje pomocí hořáku či pece. Jako přídavný materiál se používají litinové tyčinky se zvýšeným obsahem křemíku. V průběhu chladnutí lázně je třeba zajistit dosáhnutí grafítizace

a zamezit vyloučení cementitu (Fe_3C). Křemík, který je obsažen v přídavném materiálu podporuje grafítizaci.

Je důležité zajistit pozvolné zchladnutí svaru, a to z důvodu zamezení výskytu prasklin a trhlin.

Nejčastěji se svařuje směrem vpřed s pomocí neutrálního plamene. Svařování se provádí v poloze PA, tedy vodorovně shora. Při svařování je zapotřebí použití tavidla, díky němuž můžeme snížit bod tání oxidů a chránit lázeň před oxidací, (Minařík, 2014).

4.3 Svařování litiny s kuličkovým grafitem (tvárná litina)

Tvárná litina disponuje lepšími mechanickými vlastnostmi než šedá. Především se jedná o houževnatost, menší obsah nečistot, tvárnost a pevnost. Tvárná litina je vhodná pro náročnější konstrukce, (Minařík, 2003). Svým složením se litina s kuličkovým grafitem nejvíce ze všech druhů litin přibližuje ocelím, (Dillinger, 2007).

4.3.1 Svařování obalenou elektrodou

Při ohřevu v průběhu svařování dochází ke strukturálním změnám v tepelně ovlivněné oblasti, čímž dochází ke zhoršení vlastností spoje.

Z tohoto důvodu se za studena vytváří krátké svary pomocí elektrod o malém průměru.

Malé svary se zhotovují z důvodu menšího přenosu tepla do materiálu. Při velkém vnesení tepla a následném, zchladnutí by se okolo grafitových kuliček vytvořila bílá litina, která by způsobila křehká pásma. K odstranění vnitřního pnutí se doporučuje žihání svaru, (Minařík, 2003).

4.4 Svařování bílé litiny (temperovaná litina)

Díky své velké tvrdosti a křehkosti, je bílá litina téměř nesvařitelná. Při svařování bílé litiny vznikají trhliny, jak při samotném svařování, tak při chladnutí materiálu po provedení svařování. Z tohoto důvodu není bílá litina vhodná pro svařování, (Krnák, 1960).

5 Specifika svařování neželezných slitin

Za neželezné kovy se považují všechny čisté kovy, kromě železa a slitin bez převažujícího obsahu železa. Neželezné kovy lze rozdělit na těžké a lehké. Neželezné těžké kovy mají hustotu větší než 5 kg/dm³. Jedná se o měď, zinek, chrom, nikl, stříbro, cín, nikl, olovo atd. Lehké kovy mají naopak hustotu menší než 5 kg/dm³. Do této skupiny lze zařadit hliník, hořčík či titan, (Dillinger, 2007).

5.1 Svařování hliníku a jeho slitin

V dnešní době nabývá svařování hliníku velkého významu, a to především kvůli jeho využívání v chemickém, potravinářském a dopravním průmyslu. Oproti oceli má na výslednou podobu a kvalitu svaru podíl nejen postup, ale i metoda svařování.

V praxi převažuje metoda svařování v inertním plynu, lze však využít i metody bodového a švového svařování, popřípadě plamenové svařování. (Veverka, J.)

Mezi nejčastější metody svařování hliníku a jeho slitin patří metody MIG a TIG, odporové, popřípadě plamenové svařování. Při svařování má hliník tendenci se roztahovat.

Z tohoto důvodu hrozí riziko popraskání svaru při chladnutí, (Bohnart, 2017).

Velký problém při svařování hliníku představují oxidy, které se vyskytují na povrchu. Například oxid hlinitý (Al₂O₃) má teplotu tavení okolo 2000 °C a je nerozpustný v tavenině či v tuhém roztoku. Oxid hlinitý znemožňuje vytvoření kvalitního spojení kovu a znemožňuje tak svařování, (Minařík, 2014).

5.1.1 Svařování obalenou elektrodou

Při svařování obalenou elektrodou pro svářeče představuje největší problém vrstva oxidu hlinitého (Al₂O₃) na povrchu. Z tohoto důvodu je potřeba před samotným svařováním povrch svaru pečlivě očistit a následně využít doporučené elektrody, které se připojí na kladný pól.

Součásti, které mají větší tloušťku, se musí předeřhřát (150 až 300 °C) a následně ke svaření využít, pokud možno elektrodu o co největším průměru. Svařování se provádí s velkou tavnou lázní, a to za účelem umožnění odchodu plynů uvolňujících se při svařování do atmosféry. Obecně se doporučuje pro svařování hliníku metoda MIG, (Minařík, 2003).

5.1.2 Svařování metodou MIG

Svařování metodou MIG lze uskutečnit pouze sprchovým způsobem přenosu kovu (malé kapky roztaveného kovu). Z tohoto důvodu musí být svařovací proud velmi vysoký. Svařuje se pomocí stejnosměrného proudu s elektrodou zapojenou na kladném proudu.

Pro svařování plechů o větších tloušťkách se využívá směs argonu a helia. Obsah helia se pohybuje od 25 do 75 %, (Veverka, J.), (Minařík, 2003).

5.1.3 Svařování metodou TIG

Svařování metodou TIG se doporučuje pro slitiny hliníku do tloušťky 3,175 mm (1/8 palce). Jako ochranný plyn se nejčastěji využívá čistý argon, (Bohnart, 2017).

Při svařování hliníku je zapotřebí použít střídavý proud. Před svařováním je nezbytné zčistit povrch nečistot a oxidů. Doba mezi očištěním a samotným svařováním by měla být, pokud možno co nejkratší, a to z důvodů rychlé oxidace hliníku a vzniku oxidu hlinitého (Al_2O_3), který brání kvalitnímu spojení, (Minařík, 2003).

5.1.4 Svařován plamenem

Teplota tavení hliníku je 658 °C. Velmi nepříjemná je skutečnost, že počátek tavení kovu se obtížně rozpozná, jelikož při ohřevu hliníku je změna jeho barvy těžko rozpoznatelná, (Minařík, 2014).

Pro plamenové svařování hliníku se nejčastěji využívá směsi acetylenu s kyslíkem, a to především pro jeho vysokou výhřevnost a širokou dostupnost. Dále lze využít směs vodíku a kyslíku pro svařování plechů o malých tloušťkách. Pro zajištění maximální rychlosti svařování a čistoty svaru se doporučuje neutrální plamen, (Bohnart, 2017).

Pro svaření hliníku je zapotřebí užití tavidla. Tavidlo ovlivňuje chování oxidů a pomáhá je rozpouštět. Obvyklé složení tavidel jsou chlorid sodný (NaCl), chlorid draselný (KCl), chlorid lithný (LiCl) a fluorid sodný (NaF). Nejčastěji se tavidlo rozpouští v destilované vodě a následně se nanese na svarové plochy bezprostředně před svařováním. Po dokončení svařování je zapotřebí zneutralizovat tavidlo roztokem, aby se zamezilo vzniku koroze, (Minařík, 2014).

5.1.5 Odporové svařování bodové

Před samotným svařováním je zapotřebí důkladně zkontrolovat povrch svařovaných součástí. Povrch by neměl být znečištěn olejem, mastnotou, nátěrem, oxidací aj. Pro svařování se doporučuje použít elektrody vyrobené ze slitiny mědi s vysokou tepelnou a elektrickou vodivostí. Doporučený průtok vody pro chlazení je 6 l/min při svařování dvou plechu o tloušťce do 3 mm včetně, (ČSN EN ISO 18595, 2021).

5.2 Svařování hořčíku a jeho slitin

Hořčík se využívá převážně v letecké dopravě, popřípadě v autoprůmyslu. Nejčastěji se hořčík vyskytuje ve slitinách s hliníkem nebo zinkem, především kvůli tomu, že čistý hořčík je sám o sobě velmi křehký.

Svařování hořčíku je podobné jako svařování hliníku. Využívá se zde stejných typů svarů a příprav svarových ploch. Lze zde využít svařování v ochranné atmosféře (argon, helium), plamenové svařování či svařování metodou TIG s elektrodou zapojenou na záporném pólu, (Bohnart, 2017).

5.3 Svařování titanu a jeho slitin

Titan disponuje skvělými korozivzdornými vlastnostmi.

Pro vysokou cenu výroby čistého titanu se nejčastěji vyskytuje ve formách slitin a různých ochranných vrstev.

Využívá se v chemickém, kosmickém, námořním a zdravotnickém průmyslu. Při svařování titanu je velice důležité dodržet čistotu svařovaných ploch.

Při mechanickém čištění plochy musíme dbát zvýšené opatrnosti. Titan v podobě prášku je vysoce hořlavý, (Bohnart, 2017).

5.3.1 Svařování metodou TIG

Při svařování titanu je zapotřebí, aby přídavný materiál byl co nejpodobnější základnímu materiálu. Titan zůstává dlouhou dobu po provedení svaru horký, proto je zapotřebí chránit svar ochranným plynem do doby, než dojde k jeho vychladnutí. K tomu lze využít větší průměr hubice nebo použít speciální koncový kryt pro svařování (Obr. 15), který se připevní na hubici. Tento speciální kryt umožňuje obklopení svaru ochranným plynem do doby, než jeho teplota klesne pod teplotu oxidace, (Bohnart, 2017).



Obrázek 15 Speciální kryt pro svařování
Zdroj: www.tag.antprofitools.cz

5.4 Svařování mědi a jejích slitin

Měď má teplotu tavení 1083 °C. Disponuje velkou tepelnou vodivostí, kvůli které je při svařování nutné dodat větší množství tepla. Považuje se za jeden z nejstarších materiálů. Měď se hojně využívá v různých odvětvích, své místo si našla například v elektrických zařízeních a topenářství. Měď je jedním z nejlepších vodičů tepla a proudu, a je vysoce odolná vůči korozi, (Bohnart, 2017), (Materiály a jejich svařitelnost, 2001).

5.4.1 Svařování metodou TIG

Pro svařování čisté mědi a většiny jejích slitin se využívá metoda TIG s elektrodou zapojenou na záporném pólu, (Bohnart, 2017).

5.4.2 Plamenové svařování

Při svařování plamenem se využívá větších hořáků než při svařování ocelí stejné tloušťky. Pro svařování je vhodná pouze dezoxidovaná měď (obsah O₂ max 0,01 až 0,02 %). S rostoucím obsahem kyslíku se měď stává obtížněji svařitelná. Měď můžeme svařovat pomocí neutrálního plamene s využitím přídavného materiálu, jehož složení obsahuje stříbro nebo křemík. Svařuje se směrem dopředu. Během svařování se užívají tavidla na základě boraxu a kyseliny borité. Tavidlo se zředí lihem a následně je nanášeno na svarovou plochu, (Minařík, 2014).

6 Zkoušky svarů

Zkoušky svarů slouží ke kontrole jakosti, celistvosti, mechanické a provozní spolehlivosti.

Zkoušky se provádějí převážně po ukončení či během svařování, například při svaření určitého úseku, vrstvy nebo housenky. Zkoušky lze dělit na dva způsoby.

První způsob je zkouška destruktivního typu, kdy při zkoušce dochází k nevratnému a trvalému poškození zkušební vzorku. druhý způsob, je způsob nedestruktivní (NDT). Do této skupiny lze zařadit zkoušky, při kterých nedochází k trvalému poškození zkušební vzorku.

6.1.1 Destruktivní zkoušky svaru

Využívají se v případech, kdy je u zkoumaného svaru nutné důkladněji kontrolovat mechanické vlastnosti. Zkoušky destruktivního typu se především zaměřují na kontrolu pevnostních a plastických vlastností, houževnatosti, tvrdosti a celistvosti.

Zkoušky se provádějí na zkušebních vzorcích, které jsou odebrány z kontrolního svarového spoje, popřípadě na konstrukci. Pro správné provedení zkoušky je zapotřebí kvalifikovaný pracovník a laboratoř vybavená zkušebními přístroji pro dané typy zkoušek.

Mezi nejpoužívanější destruktivní zkoušky lze zařadit:

- Zkoušku tahem (ČSN EN ISO 4136)
- Zkoušku vrubové houževnatosti (rázem v ohybu) (ČSN EN ISO 9016)
- Zkoušku tvrdosti (ČSN EN ISO 9015-1)
- Zkoušku rozlomením (ČSN EN ISO 9017)
- Zkoušku krutem odporových bodových svarů (ČSN EN ISO 17653)

6.1.2 Nedestruktivní zkoušky svaru

Pro stanovení výskytu vad lze u nedestruktivních metod využít jak lidské smysly, tak přístroje. Pomocí nedestruktivních metod lze určit vady dvojího charakteru, a to povrchové a vnitřní vady, (Dolejský, 2012).

Metody pro určení povrchových vad:

- Vizuální (ČSN EN 13018),
- Magnetická metoda prášková (ČSN EN ISO 9934-1),
- Kapilární (ČSN EN ISO 3452-1),

Metody pro určení podpovrchových vad:

- Ultrazvuková (ČSN EN ISO 16810),
- Radiografická (ČSN EN ISO 17636-1)

7 Závěr

Cílem práce bylo shromáždit literární poznatky a informace k problematice týkající se svařování železných a neželezných kovů a jejich slitin. Svařování, ve smyslu spojování železných a neželezných kovů, je poměrně mladá technologie spojování materiálů, její hlavní rozvoj lze datovat do konce 19. a počátku 20. století. Svařování bylo hojně využíváno během obou světových válek, a to jak k výrobě, tak k opravám techniky.

Práce vychází z literatury dostupné v Národní technické knihovně, popřípadě z odborné databáze ScienceDirect.

V první části nalezneme výčet základních pojmů ve svařování a definici svařitelnosti. Poté následuje rozdělení svařovacích metod na metody tavné a tlakové s výčtem nejpoužívanějších druhů daných metod. V následující kapitole nalezneme aplikaci a vhodnost daných metod pro svařování železných a neželezných kovů a jejich slitin.

Práce se u metod tavného svařování věnuje především svařování obalenou elektrodou, která je při správné volbě přídavného materiálu vhodná téměř pro všechny materiály.

Jedná se o metodu, která díky své mobilnosti a ceně získala místo ve stavebnictví, renovacích či kutilství. Další z metod je svařování v ochranné atmosféře. Tato metoda využívá inertních (MIG) či aktivních (MAG) ochranných plynů při hoření oblouku. Tuto metodu lze dále rozdělit na svařování s tavící se elektrodou (MIG/MAG) nebo svařování s netavící se elektrodou (TIG). Metoda MIG je nejvíce využívána pro svařování hliníku a jeho slitin, naopak metoda MAG je vhodná spíše pro svařování ocelí. Svařovací metodu TIG lze použít pro svařování ocelí, hliníku, hořčíku, titanu a mědi. Poslední z metod tavného svařování je plamenové svařování. Metoda využívá hoření směsi kyslíku a hořlavého plynu, nejčastěji acetylenu, s použitím přídavného materiálu. Dnes se plamenové svařování používá spíše pro opravy a renovace. Metoda je díky možnosti použití většiny přídavných materiálů vhodná pro svařování ocelí, šedé litiny, hliníku, mědi a jejich slitin.

Druhou velkou skupinou metod jsou metody tlakového svařování. V této kapitole nalezneme metody třecího nebo odporového svařování. Pro zajímavost je zde uvedeno i několik neobvyklých metod svařování. Například ultrasonické svařování, svařování pomocí paprsku nebo svařování výbuchem.

Třecí svařování lze využít pro velké množství materiálů. Podmínkou je existence nástroje schopného odolat teplotám kování svařovaných materiálů. Svařovat lze oceli, hliník, měď, hořčík, olovo a jejich slitiny, popřípadě i plasty, sklo a keramiku.

Odporové svařování je vhodné pro svařování ocelí, jak pozinkovaných, tak i pokovených, typicky se jedná o karosérie aut, plechovky či konzervy. Metodu lze použít i pro svařování hliníku, niklu, mědi a jejich slitin, popřípadě titanu nebo zirkonu.

Technologie a metody svařování prochází neustálým vývojem a zlepšováním. Dochází ke zlepšení kvality svarů, kratším časům svařování, úsporám materiálů a zlepšení mechanických vlastností. Zatímco starší metody prochází zdokonalováním, díky čemuž lze svařovat dříve nesvařitelné materiály.

8 Seznam použitých zdrojů

8.1 Použitá literatura

DILLINGER, Josef, 2007. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles. ISBN 978-80-86706-19-1.

BROŽEK, Milan, 2008. Strojírenská technologie I: (návody ke cvičením). Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie. ISBN 978-80-213-1780-2.

BOHNART, Edward, 2018. Welding: Principles and Practices. New York, 2 Penn Plaza: McGraw-Hill Education, 1152 s. 5th Edition. ISBN 978-0-07-337386-7.

Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 2001. Ostrava: ZEROSS. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

MINAŘÍK, Václav, 2003. Obloukové svařování. 2., aktualiz. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství. ISBN 80-718-3285-5.

DOLEJSKÝ, Tomáš, 2012. Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou: (MIG/MAG svařování). 4., aktualiz. vyd. Ostrava: ZEROSS. Svařování. ISBN 80-866-9828-9.

BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL, 2012. Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 21: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu hliníku a jeho slitin (TIG, TIG, GTAW): se souborem testových otázek. Ostrava: ZEROSS. Svařování. ISBN 80-866-9830-0.

BROŽEK, Milan, 2009. Strojírenská technologie: (technologické postupy). Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie. ISBN 978-80-213-1942-4.

BROŽEK, Milan, 2009. Strojírenská technologie: (technologické postupy). Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie. ISBN 978-80-213-1942-4.

Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 2001. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS. ISBN 80-857-7185-3.

BARTOŠ, Jaroslav, 2000. Učebnice pro kurz svařování metodou 111: (ruční obloukové svařování obalenou elektrodou). Ostrava: ZEROSS. Svařování. ISBN 80-857-7177-2.

VEVERKA, J. Svařování barevných kovů. In: Omnitechweld.cz: články [online]. [cit. 2023-01-13]. Dostupné z: https://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/svarovani_barevnych_kovu.html

BOHNART, Edward R., [2017]. Welding: principles and practices. Fifth edition. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-337386-7.

WEMAN, Klas, 2003. Welding processes handbook. Boca Raton: Woodhead. ISBN 08-493-1773-8.

KOU, Sindo, 2003. WELDING METALLURGY. 2nd. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-43491-4.

MINAŘÍK, Václav, 2014. Základní kurz svařování metodou 311 1.1. 4. vydání se souborem testových otázek. Ostrava: ZEROSS – svářečské nakladatelství. Svařování (ZEROSS). ISBN 978-80-86698-02-1.

MISHRA, R.S. a Z.Y. MA, 2005. Friction stir welding and processing. Materials Science and Engineering: R: Reports. 50(1-2), 1-78. ISSN 0927796X. Dostupné z: doi: 10.1016/j.mser.2005.07.001

PHILLIPS, David H., 2016. Welding Engineering: An Introduction. Chichester: Wiley. ISBN 9781118766446.

KRNÁK, Rudolf, 1960. Svařování litiny. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

ČSN EN ISO 4063, 2011. Svařování a příbuzné procesy: Přehled metod a jejich číslování. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN ISO 14175, 2009. Svařovací materiály: Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy. úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN ISO 6947, 2019. Svařování a příbuzné procesy: Polohy svařování. úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví

ČSN ISO 857, 1996. Metody svařování, tvrdého a měkkého pájení: Slovník. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut. Zrušená.

ČSN 05 1310, 1973. Zváranie: Skúšanie zvariteľnosti ocelí. Základné ustanovenia. Praha: Vydavateľství Úřadu pro normalizaci a MĚŘENÍ.

ČSN EN ISO 18595, 2021. Odporové svařování – Bodové svařování hliníku a slitin hliníku: Svařitelnost, svařování a zkoušení. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci.

ČSN EN 10020, 2001. Definice a rozdělení ocelí. Ostrava: Český normalizační institut.

8.2 Zdroje grafických podkladů

Obr. 14 ŠEBESTOVÁ, Hana. Moderní technologie ve studiu aplikované:
Přehled metod svařování. In: <https://adoc.pub/> [online]. Olomouc: Společná laboratoř optiky
Univerzity Palackého a Fyzikálního ústavu Akademie věd České republiky [cit. 2023-02-02].
Dostupné z: <https://adoc.pub/no-titlec84d6ac9fea426cc16b7970d751975b958250.html>

Obr.15 TAG hliníkové koncové kryty pro svařování. In: <https://tag.antprofitools.cz/>: hliníkové
koncové kryty pro svařování [online]. [cit. 2023-02-02]. Dostupné z:
<https://tag.antprofitools.cz/tag-hlinikove-koncove-kryty-pro-svarovani->