

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Svařování železných a neželezných kovů
Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor práce: Tomáš Fiala

Praha 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Svařování železných a neželezných kovů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

21.3.2018

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Milanovi Brožkovi, CSc. za odborné vedení, ochotu, připomínky a vstřícný přístup, který mi pomohl při zpracování této bakalářské práce.

Abstrakt: Svařování je v praxi často používaná metoda pro nerozebíratelné spojování železných i neželezných kovů. Uplatňuje se prakticky ve všech oborech lidské činnosti, od výroby automobilů až po stavbu mostů. Cílem této práce je shromáždit literární poznatky o kovových materiálech používaných v automobilovém průmyslu a o metodách svařování používaných právě při výrobě silničních vozidel. V úvodu práce je stručně shrnut historický vývoj jednotlivých metod svařování, další část se zabývá popisem kovů používaných v automobilovém průmyslu. Popisuje jejich stručnou charakteristiku, použití v konstrukci vozidel a uvádí vhodné metody jejich svařování. Další kapitola popisuje základní definici a metodiku tvorby svaru. Zbývá část práce se pak rozsáhle věnuje jednotlivým svařovacím metodám používaným ve výrobě vozidel. Ty jsou pro lepší přehlednost rozdělené z hlediska způsobu vzniku tepelné energie na metody tavné a tlakové. Jednotlivé popisy metod jsou koncipovány tak, aby byl zřejmý jejich princip a použití.

Klíčová slova: svařování; automobilový průmysl; materiály; metody

Welding of ferrous and nonferrous metals

Summary: Welding is in practice a widely used method for unbreakable joining ferrous and non-ferrous metals. Applied practically in all human fields activities, from the production of cars to the construction of bridges. The aim of this work is to gather literary knowledge of the metallic materials used in the car industry and the welding methods used in production road vehicles. At the beginning of the thesis is briefly summarized the historical development individual welding methods, the next part deals with the description of the metals used in car industry. It describes their brief characteristics, use in the construction of vehicles and the appropriate methods of their welding. Next chapter then describe the basic definition and methodology of weld formation. The rest part of the work deals extensively with individual welding methods used in vehicle production. They are for better clarity divided by the way how thermal energy generation occurs melting and pressure methods. The individual descriptions of the methods are designed to be their principle and use obvious.

Key words: welding; automotive industry; materials; methods

Obsah

1	Úvod	6
2	Materiály používané pro svařování	7
3	Technologie výroby svaru	9
4	Tavné svařování	10
4.1	Svařováním elektrickým obloukem	10
4.1.1	Rozdělení zdrojů podle zatěžovací charakteristiky	10
4.1.2	Rozdělení obloukového svařování z hlediska svařovacích zdrojů	12
4.1.3	Rozdělení obloukového svařování podle druhu	13
4.2	Svařování plazmou	26
4.3	Svařování laserem	27
5	Tlakové svařování	29
5.1	Odporové svařování	29
5.1.1	Druhy odporového svařování používané v automobilové výrobě	30
5.2	Svařování třením	32
6	Závěr	33
7	Seznam použité literatury	34
8	Seznam obrázků	35

1 Úvod

Svařování je technologický proces, při kterém dochází k vytváření nerozebíratelného spojení dvou a více předmětů, nejčastěji z kovů. Lidstvu je známo svařování už téměř 6000 let. Původně se jednalo o tzv. kovářské svařování, při kterém se svařované předměty nahřívají ve výhni a postupným prokováním se materiál spojuje, tvaruje a zpevňuje. V první polovině 18. století se začalo využívat boraxového prášku, který bránil oxidaci svařovaných ploch, jednalo se tak o první ochrannou atmosféru využitou při svařování.

Skutečný průlom nastal však až v první polovině 19. století objevem acetylenu a elektrického oblouku. Svařování pomocí elektrického oblouku se v technické praxi začalo využívat již koncem 19. století. V roce 1901 byl vynalezen svařovací hořák a objevena syntetická výroba acetylenu (vyvíječe acetylenu) a zejména jeho skladování v tlakové láhvi (r. 1913), které způsobilo skutečnou technickou revoluci, a svařování plamenem pak mohlo být integrováno do nejrůznějších průmyslových odvětví.

Během první světové války se objevily požadavky na zlevnění výroby svarových spojů a zlepšení jejich jakosti. Zároveň se tak vyvíjely obaly tavných elektrod (celulósový obal r. 1919) a ochranné atmosféry plynů (r. 1925 vodík-dusík, r. 1926 argon).

Další rozvoj svařovacích metod se objevil v průběhu 2. světové války. V 50. letech bylo poprvé použito svařování v ochranné atmosféře CO₂ jako levnější alternativa oproti drahému argonu. Ve stejné době bylo objeveno i svařování plazmou, elektronovým paprskem, svařování třením, ultrazvukem atd. Nejmladší ze svařovacích metod, je svařování laserem, které bylo poprvé zkoušeno v 60. letech, ale skutečné využití laseru v průmyslové výrobě přišlo až začátkem 90. let.

Svařování můžeme rozdělit na dvě základní skupiny podle vzniku tepla a spojení svařovaných materiálů. První skupinou je tzv. tavné svařování, kde je teplo přiváděno pomocí externích zdrojů a tou druhou je svařování tlakové, kde teplo může vznikat pouze od působení tlaku nebo působením tlaku za současného odporového ohřevu materiálu. (Bernasová, 1989)

2 Materiály používané pro svařování

V automobilovém průmyslu se v největším rozsahu používá ocelí a jejich slitin. Dále pak slitin hliníku, hořčíku, zinku a titanu. (Lancaster, 1993)

Ocel

Jedná se o nejrozšířenější materiál ve výrobě vozidel. Zaručuje dobré mechanické vlastnosti při nižší ceně polotovarů a jejich následného zpracování. Také svařování zaručeně a dobře svařitelných ocelí je technologicky jednodušší, levné a rychlé (vysoká produktivita). Nízkolegovaná ocel je využívána např. při svařování rámu vozidel, potažmo samonosných karoserií, disků kol atp. běžnými konvenčními metodami (obloukové svařování viz. kap. 4.1). Svařování legované oceli je používáno například při výrobě motorových ventilů a hřidel (metoda svařování třením viz. kap. 5.2).

Slitiny hliníku

Hliníkové slitiny vykazují dostatečnou pevnost a především nízkou hmotnost. Úspora hmotnosti při zachování dostačujících mechanických vlastností je důvodem pro nahrazení slitin hliníku místo oceli. Svařování hliníku a jeho slitin je například používáno jako metoda opravy vadného odlitku, zejména u větších bloků motorů a převodovek. V dnešní době se začínají používat moderní hliníkové samonosné karoserie, které jsou svařovány pomocí bodového svařování (viz. kap. 5.1.1), obdobně jako karoserie z oceli. A dále nejrůznější hliníkové svařence jako například korpusy autosedaček apod.

Slitiny hořčíku

Hořčíkové slitiny mají technologicky podobné vlastnosti jako hliníkové, avšak mají o něco vyšší pevnost, při čemž jsou lehčí. Svařovány jsou především výlisky z hořčíkových plechů. Běžně se již používá s cílem maximálně snížit hmotnost vozidla, při zachování (nebo zlepšení) jeho jízdních vlastností. Tedy například jako výztuha karoserií, opěradla a korpusy sedaček, apod. Vhodnou metodou ke svařování hořčíku a jeho slitin je metoda TIG (viz. kap. 4.1.3.4.4).

Zinek

Svařování zinku jako takového není v automobilovém průmyslu rozšířené, může se brát pouze v potaz svařování slitin zinku (např. karburátory + příruby) v opravárenství. Nepřímo však dochází k interakci při svařování pozinkovaných plechů (karoserie), kdy je nutno brát ohled na zvolenou svařovací metodu, elektrodu, dále vliv zinku na svařitelnost a pozdější korozivzdornost svařeného materiálu.

Slitiny titanu

Slitiny titanu vykazují obtížnou svařitelnost. Dle normy ČSN ISO 15608 je jediná přípustná metoda obloukové svařování, netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu, také známá jako TIG (viz. kap. 4.1.3.4.4). Ta zaručuje vytvoření dostatečně kvalitních svarů. Jelikož je titan velmi drahý kov, který se používá především pro své výborné mechanické vlastnosti a nízkou hmotnost, je používán ve výběrových aplikacích (karoserie, hřídele atd.) pro sportovní vozy a vozy vyšších (limitovaných) tříd.

3 Technologie výroby svaru

Jak již bylo řečeno v úvodu, svařování je definováno jako technologický proces, při kterém dochází k vytvoření nerozebíratelného spojení dvou, tří i více strojních součástí nebo nejrozličnějších konstrukcí. Svařovat je možné většinu kovů využívaných ve strojírenství (ocel, litinu, slitiny hliníku, mědi, titanu, hořčíku atd.).

Mezi výhody je řazena zejména technologická nenáročnost v porovnání s jinými spoji (např. nýtovanými) a tedy vyšší produktivita. Dále velká pevnost spoje (např. oproti lepeným spojům), jeho těsnost a možnost vytvářet různé návarové vrstvy (odolné otěru, korozi atd.).

Naopak mezi největší nevýhody patří změna mechanických vlastností a vnášení vnitřního pnutí do svařovaného materiálu (s tím spojený vznik deformací), kdy je pro použití svařeného spoje v některých aplikacích nutné zařadit jeho pozdější tepelnou úpravu (žihání). To může mít nepříznivý dopad na konečnou cenu výrobku.

Hlavní příčinou vzniku deformací je vysoké lokální tepelné zatížení, kdy je materiál v této oblasti přiveden na teplotu tavení, se kterou je spojeno výrazné zvýšení jeho objemu. Okolní materiál s nižší teplotou však této změně brání a tak dochází k různým vadám v krystalové mřížce nebo přímo k deformaci (např. typické zkroucení plechu).

Také prudké zvýšení a snížení teploty má vliv na velikost a strukturu zrn materiálu, což má negativní dopad na jeho mechanické vlastnosti, jako třeba zvýšení tvrdosti (pokud není účelné), snížení tvárnosti - zkřehnutí a pod.

Základní podmínka vzniku kvalitního svaru je technologická vlastnost, obecně zvaná jako svařitelnost. Svařitelnost je definována jako vlastnost materiálu umožňující vytvořit takový svar, který vyhovuje technickým požadavkům daného spoje. U většiny materiálů je pak udávána svařitelnost jako zaručená, zaručená podmíněná, dobrá a obtížná. Zpravidla závisí na obsahu uhlíku a přísadových prvků (Cr, Ni, Mo atd.). Dále pak na tloušťce materiálu, zvolené svařovací metodě a přídavném materiálu.

Svary mohou být zhotovovány jako jednovrstvé nebo více vrstvé (pro dosažení požadované tloušťky svaru či hloubky závaru). (Bernasová, 1989)

4 Tavné svařování

Pojmem tavné svařování se rozumí vytvoření tavné lázně za pomoci některých z konvenčních metod ohřevu materiálu – plamenem, elektrickým obloukem atd., tedy přiváděním nebo přeměnou jiné formy energie na energii tepelnou. Na následujících stranách jsou uvedeny nejčastěji používané metody v automobilovém průmyslu.

4.1 Svařování elektrickým obloukem

Jedna z nejstarších metod svařování, je svařování pomocí elektrického oblouku. Tato metoda je založena na přeskočném elektrickém proudu mezi elektrodami, při kterém mezi nimi dochází k ionizaci vzduchu (tedy vzduch se v místě mezi elektrodami stane vodivým). Tím dojde k přeskočným charakteristické jiskry. V praxi se většinou jedná o svařovací elektrodu a svařovaný materiál, kdy při dostatečném přiblížení anody ke katodě na velmi krátkou popř. bezprostřední vzdálenost dojde právě ke vzniku elektrického oblouku, který hoří za vysoké teploty. V okamžiku prvotního zapálení oblouku je teplota anody přibližně 2400 °C a katody 2100 °C. Samotný elektrický oblouk dosahuje teplot v rozmezí 6000 – 8000 °C. K udržování oblouku dochází regulací napětí nebo proudu, popř. obojího. S ohledem na tuto skutečnost můžeme rozdělit svařovací zařízení (zdroje) na dva základní typy – s konstantním proudem nebo s konstantním napětím. (Minařík, 2003)

4.1.1 Rozdělení zdrojů podle zatěžovací charakteristiky

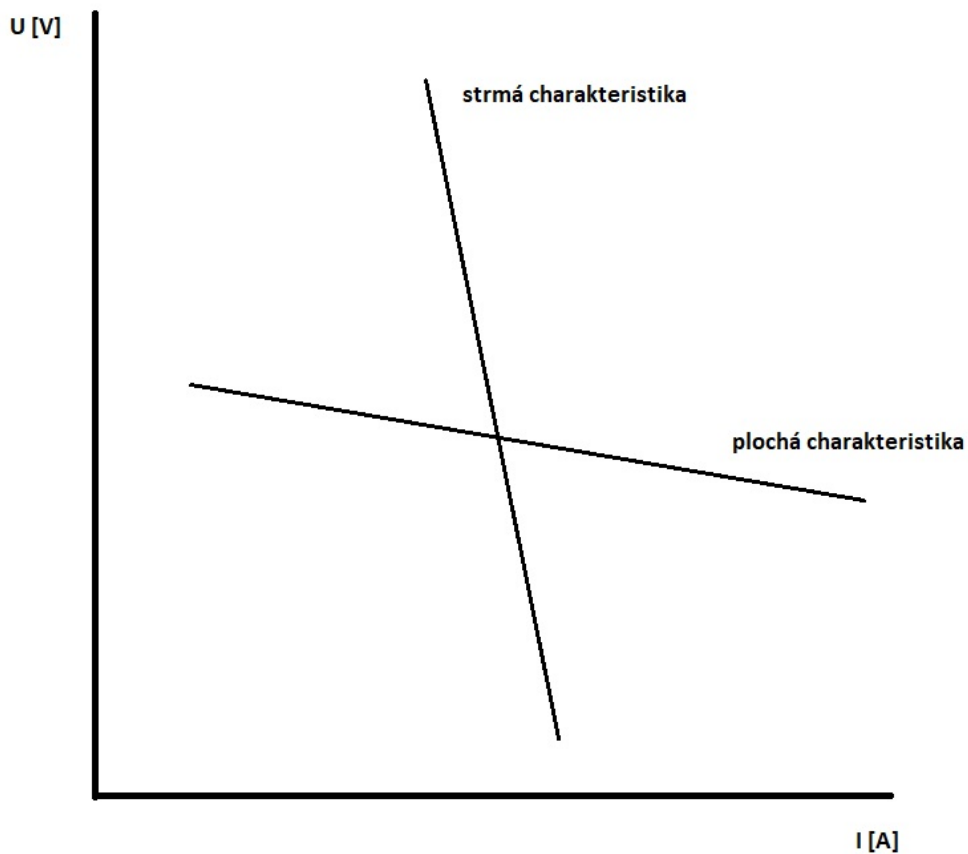
Charakteristika s konstantním proudem

Nebo také strmá charakteristika (viz. obr. 1) se používá u zařízení, kde samotný svařovací proces provádí člověk. Není totiž v lidských silách udržet stále stejnou délku elektrického oblouku. K jeho udržení tedy svařovací zdroj zvyšuje nebo snižuje hodnotu napětí při zachování téměř konstantní hodnoty proudu. Tohoto typu regulace se využívá zejména u zdrojů pro ruční svařování obalenou elektrodou (MMA) a svařování v ochranné atmosféře inertního plynu (TIG).

Charakteristika s konstantním napětím

Také známa jako tzv. plochá charakteristika (viz. obr. 1). Svařovací zdroje s touto charakteristikou se snaží udržet konstantní hodnotu napětí podle kolísání elektrického odporu. Tedy dojde-li ke zkrácení délky oblouku (snížení napětí), zdroj samovolně reaguje zvýšením proudu, drát tedy rychleji uhoří a oblouk se opět prodlouží. Naopak při nadměrném prodloužení oblouku (zvýšení napětí) se proud samovolně sníží, drát hoří pomaleji a oblouk se zkrátí. Tento způsob regulace je vhodný například pro ruční a automatizované svařování MIG/MAG (viz. kap. 4.1.3.4).

Obr. 1 Charakteristika svařovacích zdrojů [1]



4.1.2 Rozdělení obloukového svařování z hlediska svařovacích zdrojů

Svařovací transformátor

Svařovací transformátor je dnes v běžné technické praxi stále nejrozšířenějším zdrojem. Existují varianty s usměrňovačem proudu či bez něho. V principu se jedná o klasický transformátor s nízkonapětovým a vysokonapětovým vinutím, který převádí síťové střídavé napětí (220/380 V) na napětí nižší (70-100 V pro zapálení a dále 10-50 V pro udržení oblouku), ale s mnohem vyšším střídavým zkratovým proudem (10-2000 A). Varianta transformátoru bez usměrňovače je převážně používána u tzv. „hobby svářeček“ pro svařování obalenou elektrodou. Typy s usměrňovačem se používají u zařízení pro svařování jak obalenou elektrodou, tak pro svařování v ochranných atmosférách (MIG/MAG/TIG viz. kap. 4.1.3.4). Oproti neusměrněným zdrojům umožňují v případě svařování obalenou elektrodou volbu jejího obalu (viz. kap. 4.1.3.1 – Druhy elektrod). Svařovací transformátory jsou konstrukčně jednoduchá a tedy levná zařízení. V porovnání s invertory je pak nevýhoda nižší hodnota zatěživatele a výkon.

Svařovací inverter

V současnosti nejpreferovanější svařovací zdroj, oblíbený zejména pro své výkony, nízkou hmotnost a vyšší hodnoty zatěživatele. Jedná se o zdroj stejnosměrného proudu (je tedy možné svařovat jakoukoliv elektrodou či metodou). Oproti klasickým transformátorovým zdrojům, které nemění běžný síťový kmitočet (50 Hz), je inverter vybaven frekvenčním měničem, který zvyšuje frekvenci až na 100 Hz čímž lze dosáhnout podstatně vyšších výkonů. Vzhledem k použití frekvenčních měničů, jakožto zařízení sestávajících z polovodičových součástek, jsou invertory poměrně drahé. (Minařík, 2003; Ambrož aj., 2001)

4.1.3 Rozdělení obloukového svařování podle druhu

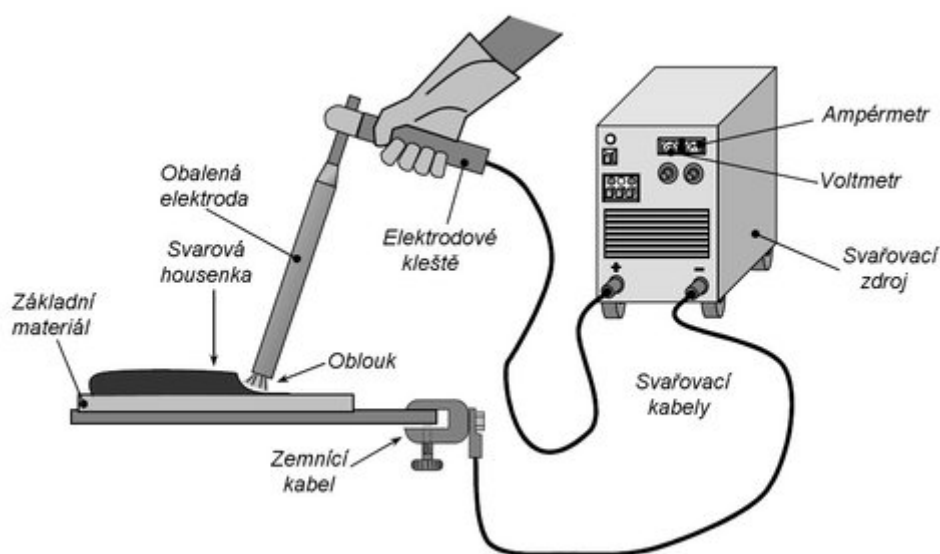
V automobilovém průmyslu jsou nejčastěji používány metody obloukového svařování obalenou elektrodou, svařování pod tavidlem, elektrostruskové svařování a svařování v ochranné atmosféře plynu.

4.1.3.1 Obloukové svařování obalenou elektrodou

Tato metoda se využívá převážně pro ruční svařování, nejčastěji ocelí a slitin hliníku, a to pomocí svařovacích transformátorů nebo invertorů. Je rozšířená jak v průmyslové výrobě, tak v opravárenství. V automobilovém průmyslu je používána např. při svařování ocelových rámu nákladních vozidel.

Svařovací elektrodu zde tvoří tavný drát a jeho obal. Základem je svařovací zdroj (resp. svařovací zařízení) a z něj vedoucí dva vodiče. První vodič je zakončen izolovanou rukojetí s kleštinou pro upevnění obalené elektrody, druhý vodič je zakončen zemnicí kleštinou, která se zpravidla připojuje ke svařovanému materiálu popř. k vodivému upnutí materiálu (svorka, svěrák apod.). Polarita vodičů je dána buďto typem zdroje (u neusměrněných), případně typem elektrody (u usměrněných) a tyto lze podle potřeby vzájemně prohazovat (viz. obr. 2). (Ambrož aj., 2001; Hadyna, 2016)

Obr. 2 Schéma ručního svařování obalenou elektrodou [4]



Druhy elektrod

Obalených elektrod existuje nepřehledné množství. Liší se zejména vlastním složením tavného drátu a druhem obalu, který má vliv především na samotnou kvalitu, popř. na mechanické vlastnosti svaru. (ESAB, 2014)

Mezi základní funkce obalu elektrody patří:

- zabránění přístupu vzduchu a tedy oxidaci (tvorba okují apod.)
- stabilizace hoření oblouku a jeho snazší zapálení
- odvádění nečistot
- dolegování svaru
- vytvoření strusky na povrchu svaru, která brání oxidaci a zpomaluje ochlazování kovu
- možnost svařování i v jiných než horizontálních polohách

Běžně se používají tři základní typy obalů elektrod a jejich kombinace. Jsou to:

Rutilový obal

Tento typ obalu je nejméně náročný na skladování (nejnižší navlhavost) a zaručuje dostačující kvalitu svaru pro běžné nenáročné aplikace. Nezajišťuje hloubkové provaření, a proto není vhodný pro svařování tlakových nádob, prutových konstrukcí apod. Elektrody s rutilovým obalem se připojují na minus pól svařovacího zdroje a proto jsou používány v kombinaci s neusměrněným transformátorem. Existují ovšem i výjimky, kde je možné použití při obrácené polaritě.

Kyselý obal

V současnosti je samotný kyselý obal téměř vytlačěn obaly rutilovými a bazickými. Svarový kov má nižší hodnoty meze pevnosti a kluzu v porovnání s rutilovým obalem, ale vyšší tažnost a vrubovou houževnatost. Elektrody s tímto obalem jsou citlivější na čistotu svarových ploch a svarový kov je náchylnější na vznik trhlin za tepla. Mimo jiné je tento typ používán pro svařování pod vodou (potrubí, nádrže apod.). Elektrody s tímto obalem se opět připojují na minus pól svářečního zdroje.

Bazický obal

Svarový kov vytvářený bazickým obalem obsahuje nízký obsah difúzního vodíku, což má vliv na dobrou vrubovou houževnatost při snížených teplotách a sníženou náchylnost k trhlinám za tepla i za studena v porovnání s ostatními typy obalů. Ve stejném srovnání dává bazický obal elektrody podstatně vyšší rychlost svařování a tím i výkon. Obal elektrod je z výše jmenovaných nejcitlivější na vlhkost (a to i vzdušnou) a proto je nutné dodržovat zásady skladování a elektrody před použitím vždy přesušovat. V dnešní době je ovšem i široká nabídka těchto elektrod s nízkonavlhavým obalem. Elektrody s bazickým obalem se připojují na plus pól svařovacího zdroje a je tedy možné je používat jen u usměrněných transformátorových zdrojů a invertorů.

Speciální obaly

Do této kategorie jsou zahrnuty specifické obaly zejména pro svařování litin, neželezných kovů, ale také k řezání či drážkování (vytváření drážky pro svarovou housenku – předúprava před samotným svařováním).

V konečném důsledku pak volba obalu elektrody záleží na výrobcí vozidel, respektive na konstruktérovi, který ho zvolí s ohledem na technické požadavky pro daný spoj.

4.1.3.2 Elektrické obloukové svařování pod tavidlem

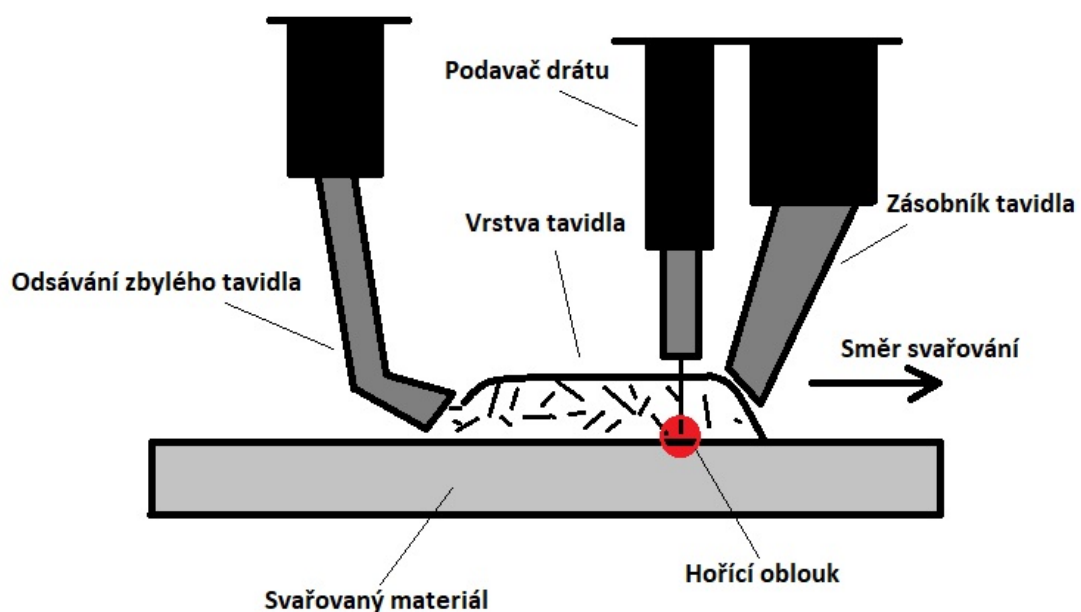
U této metody je tavnou elektrodou drát nebo páska odvíjející se z bubnového zásobníku, který je zasypáván tavidlem. To je zde ve formě prášku, který nepřetržitě zasypává elektrický oblouk. Samotné hoření tak zpravidla není viditelné, protože probíhá pod vrstvou tavidla, v dutině plynů vzniklých při jeho hoření (viz. obr. 3). Stejně jako obaly obalených elektrod pro ruční svařování, i zde má tavidlo stejnou funkci, tedy ochraňovat svarový kov před oxidací, formovat ho, vázat na sebe nečistoty, dolegovávat atd. Je běžné, že zbytkové neroztavené tavidlo se odsává a je znovu použito. Z těchto důvodů je tato metoda používána na poloautomatizovaných (vedení svářečem) nebo plně automatizovaných výrobních linkách. Stabilizace oblouku může být jak pomocí ploché, tak pomocí strmé voltampérové charakteristiky.

Jako tavidlo se používá drť popř. granulát o různých zrnitostech, které mají přesné určení použití (obdobně jako obaly elektrod). Používaný přídavný materiál je svařovací drát ve větších průměrech (až 8 mm) nebo páska pro vytváření návarových vrstev.

Výhody této metody jsou především ve vytváření velice kvalitních svarů nejrůznějších velikostí a vzhledem k automatizaci i vysoká produktivita. V automobilovém průmyslu je využívána např. pro svařování ocelových disků kol.

Jako zásadní nevýhody lze uvést vyšší pořizovací náklady zařízení a kvůli použitému sypkému tavidlu nutnost svařovat pouze v takové poloze, kdy se udrží na svařovaném povrchu (případně je nutné zabránit sesypání tavidla přípravkem). (Turňa, 1989)

Obr. 3 Schématické znázornění svařování pod tavidlem [4]

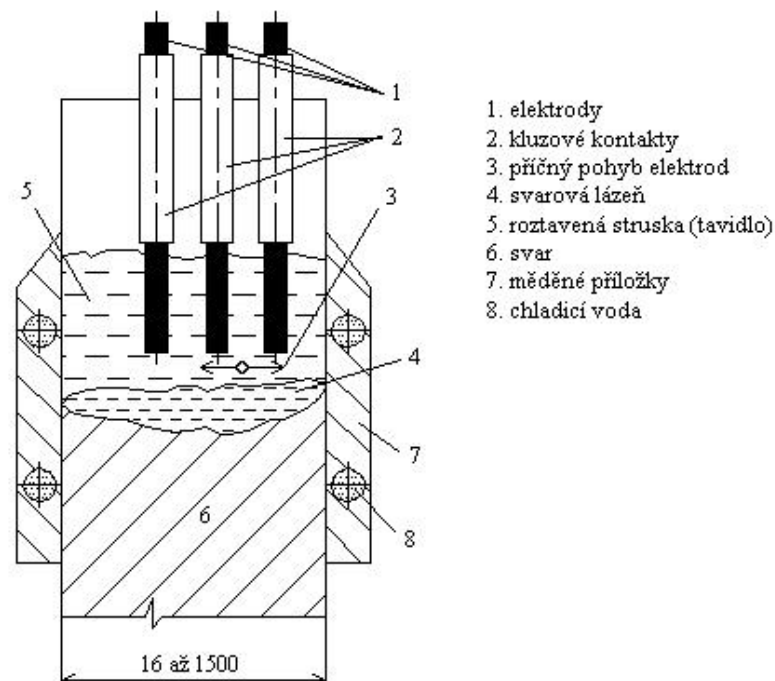


4.1.3.3 Elektrostruskové svařování

Tento způsob svařování byl vyvinut ve 40. letech 20. století. Používá se pro svařování desek o velkých tloušťkách (běžně 16 – 150 mm, ale i 1500 mm), při čemž mezera mezi deskami bývá přibližně 30 mm. Touto metodou jsou vyráběny například korby těžkých nákladních vozidel (dempry) nebo korby obrněné techniky.

Princip spočívá v přivedení svarového drátu (který je zároveň elektrodou) do nevodivého tavidla v pevném skupenství. Po zapálení elektrického oblouku dojde k natavení tavidla, které se změnou skupenství začne stávat vodivým a po určitém čase oblouk zhasne. Další teplo tedy již nevzniká od energie oblouku, ale od odporu tavidla, do kterého je nadále přiváděn elektrický proud. Svařovací drát se tak odtavuje teplem strusky, vzniklé při tavení tavidla (viz. obr. 4). Tato metoda se používá výhradně při svařování svisle a to směrem zdola nahoru. Mezi výhody patří vytváření velmi kvalitních spojů, není nutná příprava úkosů svařovaných hran, malé deformace a pnutí při chladnutí. Jako zásadní nevýhodu pak lze uvést hrubnutí zrn materiálu, způsobené jeho pomalým chladnutím a tedy následné nutné normalizační žíhání. Dále pak poměrně dlouhá doba provádění svaru (přibližně 1 m/hod, přičemž nezáleží na tloušťce desek), ovšem s ohledem na velké tloušťky desek neexistuje efektivnější metoda jejich svaření. (Turna, 1989)

Obr. 4 Znárodnění elektrostruskového svařování [4]



4.1.3.4 Obloukové svařování v ochranných atmosférách

Tato metoda se aktivně rozvíjela od 20. let 20. století. Je v principu stejná jako svařování pod tavidlem či obalenou elektrodou. Rozdíl je ale právě v použitém ochranném médiu – zde většinou plyn. Celé svařovací zařízení se pak skládá ze samotného zdroje (zpravidla usměrněného), který v případě svářeček MIG/MAG zároveň obsahuje cívkový (nebo též bubnový) podavač přídavného drátu. Ruční svařovací zařízení jsou většinou vyráběny jako univerzální, takže lze přepínačem a výměnou hořáku jednoduše přejít na svařování metodou TIG (též WIG), kde přídavný drát dodává ručně svářeč. Dále jsou stejně jako u obloukového svařování potřeba dva vodiče – jednoduchý uzemňovací a sdružený svařovací, který obsahuje jednak vedení elektrody, což je v případě MIG/MAG přídavný drát a nebo čistě vodič pro netavnou elektrodu (TIG), a jednak musí být ve vodiči i hadice s přídavným plynem (viz. obr. 5). Tento vodič je pak zakončen zmíněným svařovacím hořákem, který slouží k vedení přídavného drátu nebo jako držák netavné elektrody a zároveň usměrňuje proud plynu. Menší mobilní zařízení jsou vybaveny vlastními zásobníky plynu (tlakovými lahvemi), zatímco ve větších automatizovaných provozech jsou spíše používány centrální rozvody plynu z hlavního zásobníku přímo k jednotlivým svařovacím stanovištím. (Ondrejček, 2003)

4.1.3.4.1 Svařování metodou MIG

Název je odvozen z anglického sousloví „metal inert gas“, do češtiny volně přeloženo jako „svařování kovů v atmosféře netečného plynu“. Jak už název napovídá, jedná se o plyn, který slouží pouze jako ochrana svarové lázně před účinky okolní atmosféry a nijak jinak se neúčastní chemických reakcí při svařování. Jako inertní plyny se nejčastěji používají argon nebo směs argonu a helia, a slouží převážně ke svařování neželezných lehkých kovů. Uplatnění nachází při výrobě rámců vozidel a samonosných karoserií z lehkých neželezných slitin. (Pítr, 2015)

Argon

Je vhodný jako ochrana pro svařování ušlechtilých ocelí, hliníkových materiálů, měděných slitin, slitin titanu apod. Technický argon se dodává v několika stupních čistoty, obvykle označených jako Argon 4,6 nebo Argon 4,8 nebo Argon 5,0. Čistota 4,6 znamená, že čistota plynu je 99,996%. Čistota 4,8 znamená 99,998% a čistota 5,0 je pak téměř 100%. Pro běžné svařování hliníkových a měděných materiálů vyhovuje nejrozšířenější Argon 4,6. Argon 4,8 se

používá pro spoje s vyšším důrazem na kvalitu. Argon 5,0 je nutný například pro svařování titanu.

Argon+helium

Jedná se o směsný inertní plyn používající se zejména při automatizovaném a robotizovaném svařování. Příměs helia může být až do 95% ve směsi. Helium zvyšuje teplotu v oblouku a toho se využívá při svařování tlustých materiálů. Ovšem kromě teploty také výrazně zvyšuje cenu plynu, a proto je nejpoužívanější směsí 70 % Ar + 30 % He. Z hlediska druhů svařovaných materiálů je použití směsí Ar + He stejné jako u čistého argonu.

4.1.3.4.2 Svařování metodou MAG

I zde je název odvozen z anglického „metal active gas“. Aktivní plyn zde má kromě ochranné funkce také funkci metalurgickou, tedy reaguje s některými nežádoucími prvky, jako např. vodíkem apod. Proto se metoda MAG používá převážně ke svařování ocelí všech typů. Použití v automobilovém průmyslu je obdobné jako u metody MIG. Nejčastěji se používají směsi argonu a CO₂ nebo kyslíku. (Pítr, 2015)

CO₂

Čisté CO₂ se dnes ve velkých provozech používá jen výjimečně. Naproti tomu v opravárenství či pro tzv. „hobby svařování“ je stále velmi oblíbené. Důvodem jeho oblíbenosti je snadná dostupnost a nízká cena. Z hlediska svařovacích vlastností jej ale překonaly aktivní směsné plyny na bázi argonu. Čistý CO₂ dovoluje dobrý průvar, ale podporuje formování oxidů a karbidů, které nepříznivě ovlivňují mechanické vlastnosti svárů. Další nevýhodou je, že při čistém CO₂ je na oblouku dost vysoké napětí a tím dochází k většímu rozstříku materiálu, což má vliv jednak na hospodárnost a jednak na konečnou povrchovou úpravu svařence (vzhled). CO₂ se používá při svařování a navařování nelegovaných a nízkolegovaných konstrukčních ocelí. Není vhodný pro vysocelegované oceli, zvláště pak nerez.

Argon+CO₂

Jedná se o nejrozšířenější směs pro svařování ve velkých provozech i opravárenství. Podíl

CO₂ ve směsi může být maximálně 25 %. Při vyšším podílu už by argon ve směsi byl zbytečný a bylo by jedno, zdali se svařuje ve směsi či v čistém CO₂. Používá se hlavně na nelegované a nízkolegované oceli. Nejběžnější směsi jsou 82 % Ar + 18 % CO₂ a nebo 92 % Ar + 8 % CO₂.

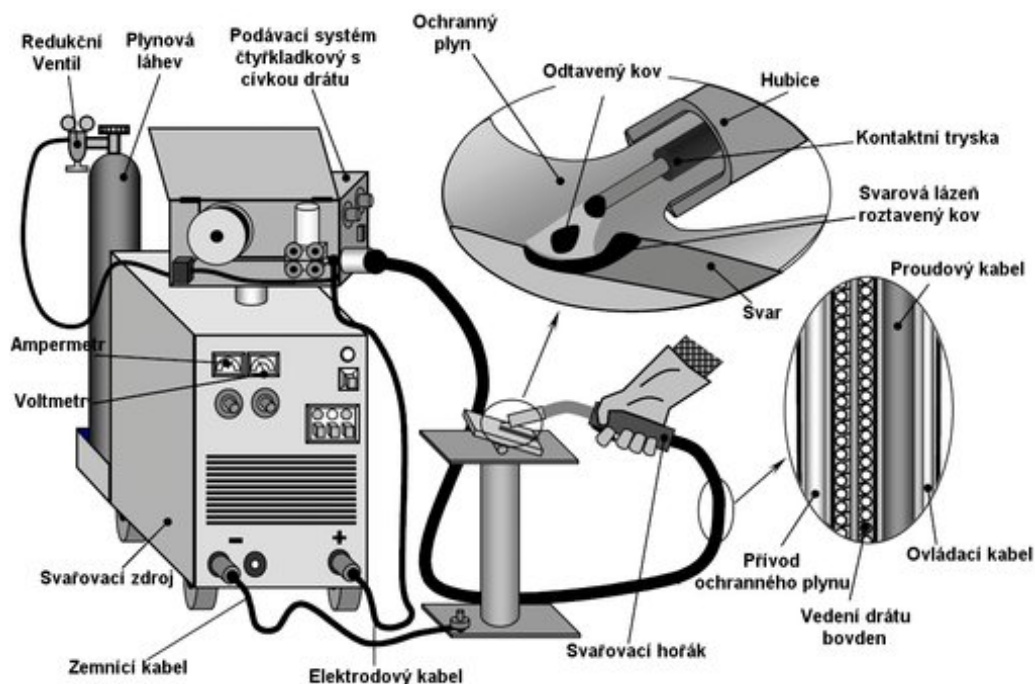
Argon+O₂

Směsný plyn na bázi argonu s příměsí kyslíku. Podíl kyslíku ve směsi by neměl překročit 5 %. Tyto plyny se používají zejména na vysoce legované oceli. Nejčastěji používané směsi tvoří 97 % Ar + 3 % O₂ a nebo 99 % Ar + 1 % O₂.

Existují ještě více složkové plyny, které tvoří kombinaci výše zmíněných plynů. Důvodem použití těchto plynů může být nižší cena, nižší produkce škodlivin či speciální použití pro konkrétní aplikaci.

Alternativou k ochranným plynům jsou tzv. **trubičkové dráty** – drát má v sobě v celé délce dutinku, obsahující tavidlo, které má doplňující účel (může například vytvářet strusku podobně jako obalená elektroda) a používá se v kombinaci s ochrannou atmosférou nebo se používá samostatně a ochrannou atmosféru plně zastupuje.

Obr. 5 Schématické znázornění ručního svařovacího zařízení MIG/MAG [3]



4.1.3.4.3 Druhy přenosu kovu

Jednou z největších předností svařování technologiemi MIG/MAG je možnost regulace (či ovlivnění) přenosu kovu. Zpravidla tak umožňují mnohem širší použití v porovnání třeba se svařováním obalenou elektrodou. Přenos kovu ovlivňují zejména svářecí drát, svářecí proud a napětí, a použitá atmosféra ochranného plynu (viz. obr. 6). Určitou konfigurací zmíněných okolností je možné dosáhnout několika forem přenosu. (Ambrož aj., 2001)

Zkratový přenos

Jak už název napovídá, jedná se o přenos kdy se na okamžik svarový kov na konci elektrody (přídavného drátu) zformuje do kapky a dotkne se svarové lázně. Tehdy dojde k zhasnutí oblouku a k elektrickému zkratu, protože jsou obě elektrody vodivě propojeny. Při tom se prudce zvýší teplota a kapka se od drátu oddělí. Tím dojde opět k zapálení elektrického oblouku čímž se celý proces opakuje.

Frekvence zkratů se pohybuje od 20 do 200 Hz. Tento jev může vzniknout při nastavení svařovacího proudu v intervalu od 60 do 180 A, svařovacího napětí od 14 do 22 V, při průměru elektrody od 0,6 do 1,2 mm a v libovolné ochranné atmosféře.

Tato metoda se vzhledem k nejnižší teplotě svarové lázně používá např. při svařování tenkých plechů nebo v polohách nad hlavou apod.

Kapkový přenos

Jedná se o přenos formou odkapávání elektrody. Je tedy nutné použít větších proudů, aby došlo k utavení konce drátu a nevznikl zkrat. Obvykle 190 – 300 A, při 22 – 28 V. Vzniklá kapka je pak přenášena zpravidla gravitační silou do svarové lázně.

Jako ochranné médium je použito CO₂. Kapkový přenos se hojně využíval v 60. a 70. letech minulého století zejména pro vysokou produktivitu, ale dnes je používán spíše zřídka. Důvody se váží k použití samotného CO₂ a vysokému proudu.

Impulzní přenos

Jedná se o vylepšenou verzi zkratového a kapkového přenosu, kde je samotný proces řízen mikroprocesorem, tzv. v pulzech. Elektronika tedy reguluje velikost proudu, napětí a frekvence podle aktuální potřeby. Je tedy možné ovlivňovat odkapávající kapku po dobu zkratu i po dobu letu. Tím je značně omezen rozstřík při zachování vyššího tavného výkonu.

Sprchový přenos

Tento přenos je specifický vysokými hodnotami svařovacího proudu (200 – 500 A při 28 – 40 V). Působením takovýchto hodnot proudu se nestačí vytvořit velká kapka, ale vlivem proudění plazmy a působením elektromagnetické síly, která vzniká při průchodu proudu vodičem a směřuje vždy do svarové lázně, dochází ke vzniku drobnějších kapek. Tato metoda je velmi produktivní a používá se k zhotovení širších návarů (argon + CO₂) nebo naopak hlubších závarů (argon + O₂).

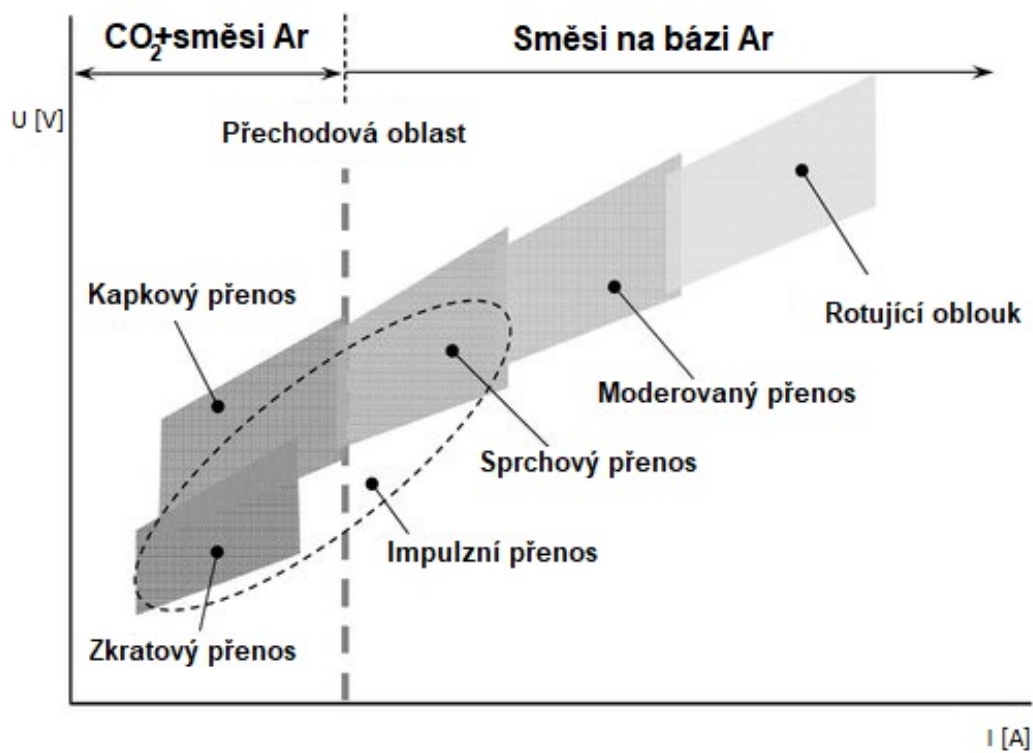
Moderovaný přenos

Modifikace sprchového přenosu, používaná pro dosažení ještě širších či hlubších svarů. Tím také dosahuje vyšší produktivity. Svařovací proud i napětí jsou o něco vyšší než u sprchového a tím dochází k tvorbě větších kapek.

Rotační přenos

Díky vysoké proudové hustotě a vyššímu napětí (v porovnání se sprchovým přenosem), a také díky elektromagnetické síle dochází k rozpohybování volného konce (delší než u zmíněných přenosů) přídavného materiálu, který začne rotovat (až 1000 ot./min). U některých typů svářecích zařízení je rotace vyvolávána mechanickým otáčením svářecího hořáku. Výhoda tohoto typu přenosu je v jeho rovnoměrnosti.

Obr. 6 Znárodnění druhu přenosu kovu, v závislosti na napětí a proudu, a použitém plynu [3]



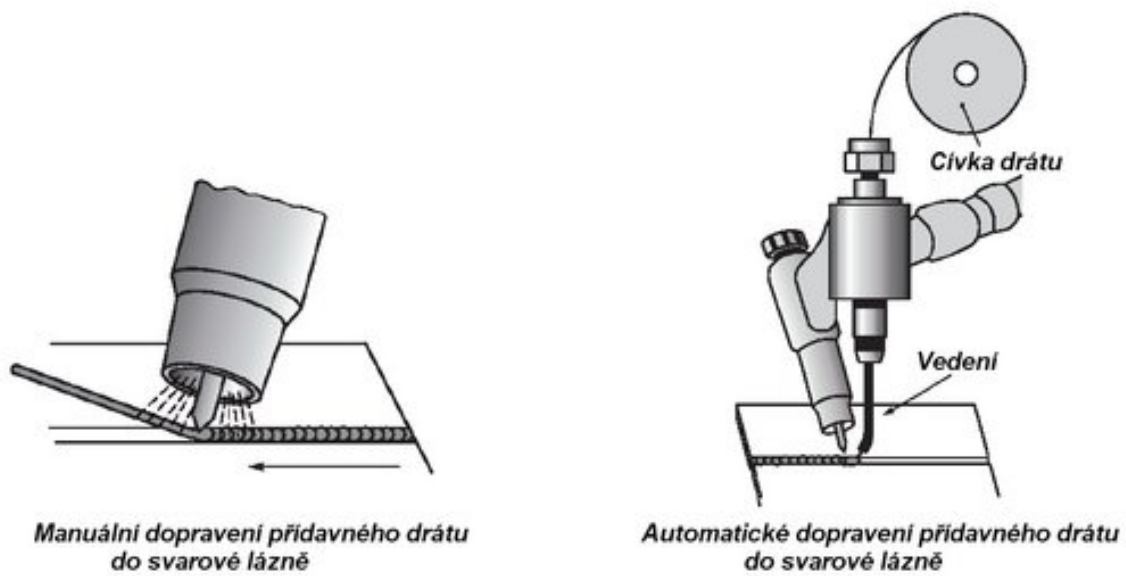
4.1.3.4.4 Svařování metodou TIG

Další velmi rozšířená metoda obloukového svařování v ochranných atmosférách. Oproti svařování MIG/MAG se zde přídavný materiál dodává externě, tedy rukou svářeče či z přídavného zdroje svářecího ramene (viz. obr. 7), a neslouží jako elektroda. Někdy se přídavného drátu nepoužívá vůbec a materiály jsou svařeny pouze jejich vzájemným roztavením.

Jako netavná elektroda je zde použit wolframový drát legovaný oxidy prvků vzácných zemin. Drát je dlouhý jen několik centimetrů, bývá zakončen špičkou a upíná se do keramického hořáku. Dále je v hořáku i vedení přídavného inertního plynu (argon). Jak již bylo řečeno, přídavný materiál (drát) je do tavné lázně přidáván samostatně a to jak ručně, podle potřeby svářeče, tak mechanizovaně z cívkového zásobníku při automatizované výrobě. Tato metoda je tedy rozšířena jak v kusové, tak v hromadné výrobě.

Nejčastěji slouží ke svařování hliníku a jeho slitin, ale používá se i ke svařování ostatních kovů (včetně ocelí, především pak nerezů). Zásadní výhoda je možnost svařovat velmi malými proudy (jednotky ampér) a tedy možnost svařovat například tenké plechy, což umožňuje pouze svařování metodou MAG nebo plamenem. Další výhodou je vysoká teplota oblouku omezená na minimální oblast, což má pozitivní vliv na vlastnosti základního materiálu, vznikají podstatně minimální deformace okolí svaru a zároveň se dosahuje poměrně velké hloubky závaru. S touto vlastností se ale pojí i zásadní nevýhoda a tou je nízká produktivita. Lokální omezení svarové lázně zkrátka nedovoluje příliš rychlý posuv svařování. Při automatizovaném svařování se tím tedy zvyšují celkové náklady na výrobek. Ovšem v některých průmyslových odvětvích se to při ručním svařování dá označit jako výhodné, protože svářeč má čas vytvořit kontrolovaný precizní svár (na rozdíl od svařování obloukovou elektrodou nebo metodou MIG/MAG). Metodou TIG jsou například svařovány vysoce namáhané rámy motocyklů z lehkých slitin (hliník, hořčík, titan). (Ambrož aj., 2001)

Obr. 7 Znáornění rozdílu mezi ručním a automatizovaným svařováním metodou TIG [3]

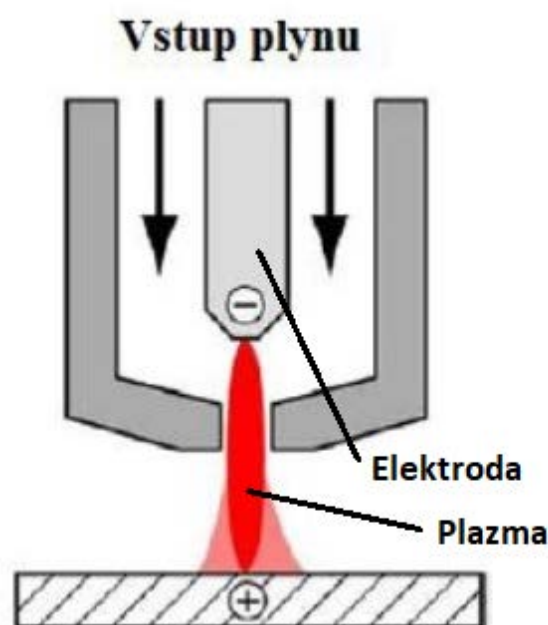


4.2 Svařování plazmou

Jedná se o metodu v principu velmi podobnou svařování TIG. I zde je hořák s netavnou wolframovou elektrodou, ale zásadní rozdíl je v principu vzniku tepelné energie. Základem je hořící elektrický oblouk, mezi wolframovou elektrodou a hořákem (nepřenesený oblouk) nebo svařovaným materiálem (přenesený oblouk). Přes oblouk je z trysky hnán plyn (nejčastěji argon), který je tím ionizován a mění se tak na plazmu, což je elektricky vodivý plyn o vysoké teplotě (až 30 000 °C). Vzniká tak úzký paprsek o vysokém tavicím výkonu (viz. obr. 8). Hlavní výhoda je tedy v rychlosti tavení, právě díky vysoké teplotě plazmy, které konvenční svařování elektrickým obloukem nemůže dosáhnout (teplota tavení wolframové elektrody je dle její čistoty cca 3380 °C).

Stejně jako u metody TIG je možné svařovat pomocí přídavného materiálu nebo čistě natavením hran materiálů. Svařovací hořáky mají často i obtokový kanál, kterým je plyn hnán okolo plazmového paprsku a tvoří tak ochrannou atmosféru stejně jako u metody TIG. A také využití je podobné jako u metody TIG, tedy vytváření precizních svarů ocelí a kovů z lehkých slitin. V současnosti postupně nahrazuje některé konvenční metody používané doposud v automobilovém průmyslu a to právě díky vyšší produktivitě. Často se také používá k vysoce efektivnímu dělení materiálů. (Schwarz, 2010)

Obr. 8 Schéma principu plazmového svařování [8]



4.3 Svařování laserem

Poslední tavnou metodou svařování, je svařování pomocí laserového paprsku. Jedná se o nejmladší metodu, která byla poprvé vyzkoušena koncem 60. let minulého století. Skutečný rozvoj a širší uplatnění však proběhlo teprve v 90. letech minulého století a tato technologie je od té doby neustále zdokonalována. Principiálně je tato metoda velmi podobná metodě svařování elektronovým paprskem (dále SEP), zde však na svařovaný materiál dopadají fotony. Svařovací zařízení se skládá ze zdroje a svařovací hlavy, která v sobě integruje rezonátor a optickou soustavu sloužící k obdobnému účelu jako u metody SEP. Pomocí zdroje běžného světla (výbojka, dioda atd.) jsou do rezonátoru vyzářeny atomy, které uvolňují fotony. Ty zde rezonují mezi dvěma rovnoběžnými zrcadly, z nichž jedno je polopropustné. Vyzářování fotonů do rezonátoru probíhá tak dlouho až je jejich světelná energie natolik silná, že dokáže projít polopropustným zrcadlem. Výsledkem je pak známý úzký světelný paprsek viditelný pouhým okem. Ve svařovací hlavě je i soustava optických čoček, kterými je možné světelný paprsek laseru zaostřovat.

Svařování laserem má poměrně zásadní specifika. Oproti jiným metodám, u této záleží na tzv. „pohltivosti“ a „odrazivosti“ materiálu. Ta je dána jeho leskem, barvou, drsností povrchu, geometrií a vodivostí. Výkon lze poměrně snadno ovlivňovat vlnovou délkou světelného paprsku (regulací propustnosti zrcadla). Oproti metodě svařování elektronovým paprskem dopadající proud fotonů nemění kinetickou energii na tepelnou, ale zvyšuje frekvenci vibrační mřížky materiálu, který se tak prudce ohřívá.

V praxi jsou používány dvě metody svařování laserem (viz. obr. 9). První je metoda „vedením tepla“. Dochází při ní k absorpci tepla a materiál se taví na povrchu. Při tomto způsobu je možné využívat poměrně velkých svařovacích rychlostí, ale není možné dosáhnout větších hloubek závaru.

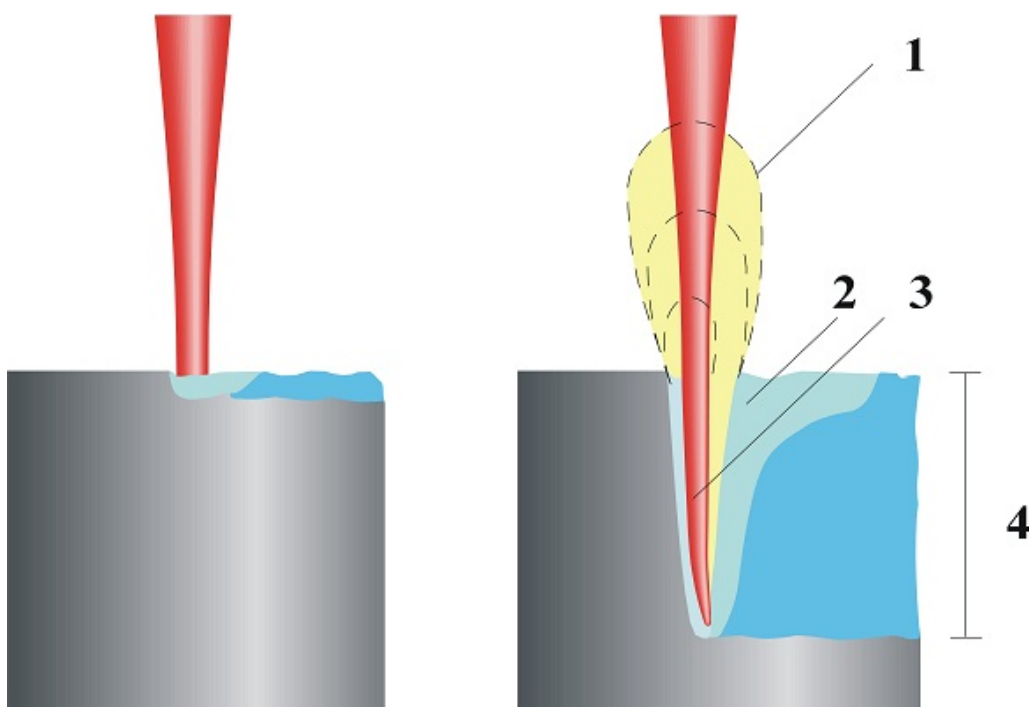
Druhá je tzv. metoda „klíčové dírky“. Principem této metody je vznik plazmy (působením laserového paprsku v parách odpařujícího se kovu) nad svarovou lázní, která zvyšuje teplotu v místě svařování. Předností tohoto způsobu je vytvoření relativně úzkého ale hlubokého průvaru. Pro metodu svařování klíčové dírky jsou hojně využívány běžné ochranné atmosféry plynů jako argon, helium, CO₂ atd., které zvyšují efektivitu plazmy a zároveň chrání svarový kov před oxidací.

Svařování laserem se v současnosti stále více rozšiřuje i do automobilového průmyslu. Výhodou je například možnost svařovat kovy s rozdílným chemickým složením, možnost svařovat v těžko přístupných místech a v libovolné poloze, přičemž laserový paprsek není

ovlivňován magnetickým polem ani geometrií svařence. To je výhodné z hlediska svařování komplikovanějších tvarů (např. mezi chladicími žebry), kde při svařování elektrickým obloukem dochází k jeho přeskoku na nejbližší plochu – často bližší než svarová lázeň.

Mezi největší nevýhody patří především vysoké pořizovací a provozní náklady (zdroje laserů mají velkou spotřebu elektrické energie), ale s ohledem na vývoj této technologie lze do budoucna očekávat jejich pokles. (Schwarz, 2010; Katayama, 2013)

*Obr. 9 Princip laserového svařování; vlevo povrchové tavení; vpravo metoda „klíčové dírky“,
1 – plazma; 2 – roztavený materiál; 3 – klíčová dírka; 4 – hloubka závaru [8]*



5 Tlakové svařování

Další velkou skupinu svařovacích metod tvoří svařování tlakové. Hlavní rozdíl v porovnání s tavným svařováním je fakt, že tepelná energie zde nevzniká od elektrického oblouku (či plamene), ale od elektrického odporu a také silným tlakem. Tento výklad je zobecněn a zjednodušen, proto hlavní rozdíly budou popsány u jednotlivých metod.

5.1 Odporové svařování

V automobilovém průmyslu se jedná o jednu z nejrozšířenějších metod spojování kovových polotovarů (obvykle plechů) pomocí dvou elektrod, na které je přiveden elektrický proud. Typickým příkladem jsou bodované samonosné karoserie automobilů a jejich části. Mezi elektrody jsou vloženy spojované materiály, které jsou jimi silně stlačeny a tím za současného působení tlakové síly a elektrického odporu, který materiály v místě styku prudce zahřívá, dojde k jejich svaření. U této metody svařování se nepoužívá přídavného materiálu ani ochranných atmosfér. Jedná se o velmi rychlý proces, takže zaručuje vysokou produktivitu a tedy je primárně určen pro hromadnou výrobu. Zároveň umožňuje svařování prakticky v jakékoliv poloze.

Svářečky mohou být v různých provedeních – od menších ručních až po větší zařízení s robotizovaným ramenem. Jako svařovací zdroj je zde použit jednofázový transformátor, který má zpravidla na sekundárním vinutí pouze jeden závit. Tím je dosaženo poměrně nízkého napětí (2 – 20 V) a vysokého proudu (10 000 – 150 000 A).

Kromě ocelí, kde se používá nejčastěji, je možné svařovat touto metodou i hliník, nikl, měď a jejich slitiny.

Elektrody jsou nejčastěji vyráběny ze slitin mědi (Cu - Cr - Zr, Cu - Ni - P a pod.) a jejich životnost je počítána na stovky svařovacích cyklů. Musí mít dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, a zároveň musí mít dostatečnou mechanickou odolnost za vyšších teplot. Dále by měly mít co nejvyšší teplotu měknutí (s ohledem na svařovaný materiál) a co nejmenší sklon k legování svařovaného materiálu. A v neposlední řadě také nízké výrobní náklady. Svařované materiály mají obvykle tloušťku od 0,4 do 4 mm. (Turňa, 1989; ESAB, 2011)

5.1.1 Druhy odporového svařování používané v automobilové výrobě

Odporové bodové

Svařovací zařízení pro odporové bodové svařování mají nejčastěji tvar kleštiny, která může být buďto v ručním provedení nebo na robotizovaném rameni. Kleština je zakončena výstupky - elektrodami, mezi které se vloží svařovaný materiál a podle pokynu svářeče (či programu) dojde k jeho sevření a provedení svaru – bodu (odtud název), viz. obr. 10. Ovládání kleštiny může být prováděno mechanicky, elektromagneticky, pneumaticky nebo i hydraulicky.

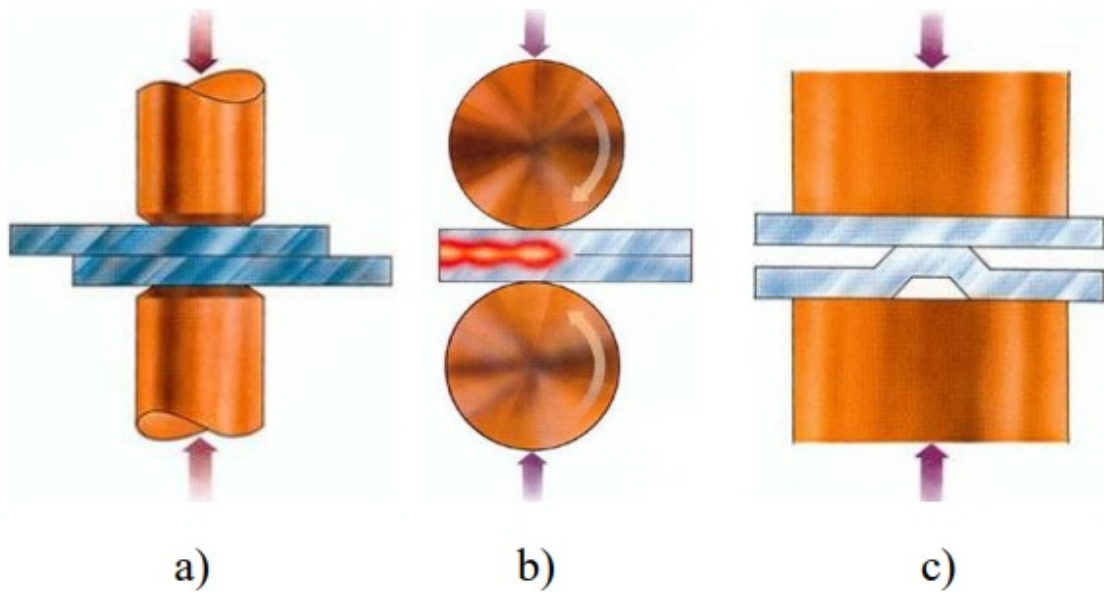
Odporové švové

Další častá metoda odporového svařování, je svařování švové. Touto metodou je vytvářen dlouhý nepřerušovaný spoj (šev). Na svařovacím zařízení jsou nad sebou dvě kladky (nebo jedna kladka a deska), jejichž hrany mají funkci elektrod. Svařovaný předmět se vloží mezi kladky, které se začnou otáčet a v místě dotyku se začne vytvářet svar. Svařovaný předmět se zároveň díky pohybu kladek posouvá a tím je docíleno nepřerušovaného dlouhého spoje. Kladkami otáčí většinou elektromotor a tlačná síla je vyvolávána pneumaticky nebo hydraulicky. Z toho vyplývá, že konstrukce těchto strojů je robustnější a vylučuje tedy ruční provedení.

Odporové výstupkové

Jedná se v podstatě o modifikaci bodového svařování. Zde je ovšem vytvořeno několik bodů zároveň. Tato metoda vyžaduje předúpravu svařovaného plechu, do kterého se nejprve musí vylisovat výstupky. Elektrody tak mohou mít tvar rovných desek, čímž je výrazně zvýšena jejich životnost. Zařízení pro výstupkové svařování se nazývají svařovací lisy. (ESAB, 2011)

Obr. 10 Druhy odporového svařování používané v automobilové výrobě; a) bodové, b) švové, c) výstupkově [14]



5.2 Svařování třením

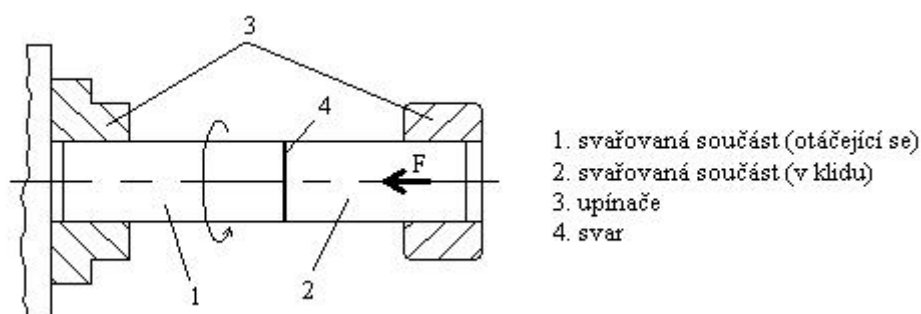
Další ze skupiny tlakových svařování je svařování třením. Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, tak právě zde není tepelná energie vytvořena elektrickým proudem. K vyvolání tepla dochází vzájemným třením svařovaných materiálů za současného působení tlačné síly, čímž vznikají velké třecí síly. A právě ty vyvolávají třecí teplo.

Touto metodou se nejčastěji svařují rotační součásti motorů a převodovek (hřídele, ventily apod.) v čelních plochách. Samotný proces probíhá tak, že jedna část se upne do posuvného sklíčidla a druhá do otočného sklíčidla (upínačů). Otočné sklíčidlo se roztočí na 800 – 1800 otáček za minutu (podle druhu materiálu) a posuvné sklíčidlo se začne tlačit proti otočnému. Tím se obě svářené části spojí a v místě styku vznikne velká třecí síla, která má za následek natavení obou konců. Jakmile je natavení dostatečné, otočné sklíčidlo se přestane otáčet a posuvné obě součásti stlačí, čímž se dosáhne vlastního svarového spoje (viz. obr. 11). Celý svařovací proces pak trvá jen několik sekund (podle velikosti svařenců).

Výhody této metody jsou nižší energetické nároky (ve srovnání s ostatními druhy svařování), vysoká produktivita a technologicky nenáročné zařízení. Kvalita svaru je velmi dobrá, protože stykové plochy jsou vlivem tření dokonale čisté, dále je k nim znemožněn přístup vzduchu a díky samotné podstatě této metody (vlisování) dochází k dokonalému přiblížení hraničních ploch krystalů materiálů a vzniku meziatomárních sil.

Experimentálními zkouškami bylo zjištěno, že závislost mezi zvyšováním otáček a rychlostí svařovacího procesu má klesající trend. Je tedy určitá hraniční mez a poté se při dalším nárůstu otáček svařovací čas naopak prodlužuje. Naopak přítlačnou silou je možné účinně ovlivňovat rychlost ohřevu i hloubku tepelného pole. (Mandaus, 1961)

Obr. 11 Schéma principu svařování třením [7]



6 Závěr

Na závěr lze říci, že v této bakalářské práci byly tak, jak to její rozsah dovoluje, zpracovány dostupné literární poznatky z oblasti materiálů a metod jejich svařování, používaných v automobilovém průmyslu. V úvodu byl shrnut stručný historický vývoj svařování, další kapitola se pak zabývala technologií vytvoření svarového spoje. Ve zbylé části práce jsou popsány jednotlivé svařovací metody, se kterými se člověk může ve výrobě silničních vozidel a jejich součástí setkat. Důraz byl kladen především na vysvětlení podstaty a použití jednotlivých svařovacích metod. Zatímco konvenční metody jako je například svařování obalenou elektrodou, či svařování pod tavidlem nebo v atmosféře ochranných plynů se rozvíjejí už jen minimálně, lze do budoucna očekávat, že metody typu laserového svařování, svařování plazmou atd., se budou dále vyvíjet, rozšiřovat své využití a nahrazovat ve výrobě silničních vozidel zmíněné konvenční metody.

7 Seznam použité literatury

- [1] MINAŘÍK, V. *Obloukové svařování*. 3. vyd. Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-86960-28-9.
- [2] ONDREJČEK, P. *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou*. 1.vyd. Bratislava: Eterna Press, 2003. ISBN 80-968359-5-5.
- [3] AMBROŽ, O.; KANDUS, B.; KUBÍČEK, J. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [4] TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvárania*. Bratislava: Alfa, 1989. Edícia strojárскеj literatúry (Alfa).
- [5] Kolektiv autorů, ESAB VAMBERK, s.r.o., *Katalog přídavných svařovacích materiálů*. 2014.
- [6] MANDAUS, Jan. *Svařování třením*. Praha: SNTL, 1961. Knižnice strojírenské výroby.
- [7] SCHWARZ, D. Plazmové, elektronové a laserové svařování. *časopis Svět svaru*, 5/2010. ISSN 1214-4983, MK ČR E 13522.
- [8] LANCASTER, J. F. *Metallurgy of welding*. 5th ed. New York: Chapman & Hall, 1993. ISBN 0412478102.
- [9] KATAYAMA, Seiji, ed. *Handbook of laser welding technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. Woodhead Publishing series in electronic and optical materials. ISBN 978-0-85709-264-9.
- [10] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. 2nd ed. Oxford: Woodhead Publishing, 2012. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-0-85709-510-7.
- [11] HADYNA, D. Svařování obalenou elektrodou, *časopis Svět svaru*, 1/2016. ISSN 1214-4983, MK ČR E 13522.
- [12] PÍTR, R. Ochranné plyny pro svařování, *časopis Svět svaru*, 3/2015. ISSN 1214-4983, MK ČR E 13522.
- [13] BERNASOVÁ, E. *Svařování*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 04-212-87.
- [14] ESAB: Česká republika. *Odporové svařování* [online]. 2011 [vid. 2013-02-10]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/processes-resistance-welding.cfm>
- [15] ČSN ISO 15608. *Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 12 s. Třídící znak 05 0323.

8 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Charakteristika svařovacích zdrojů.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 2 Schéma ručního svařování obalenou elektrodou.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3 Schématické znázornění svařování pod tavidlem.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 4 Znázornění elektrostruskového svařování.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5 Schématické znázornění ručního svařovacího zařízení MIG/MAG.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 6 Znázornění druhu přenosu kovu, v závislosti na napětí a proudu, a použitém plynu....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 7 Znázornění rozdílu mezi ručním a automatizovaným svařováním metodou TIG.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 8 Schéma principu plazmového svařování.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 9 Princip laserového svařování.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 10 Druhy odporového svařování používané v automobilové výrobě.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 11 Schéma principu svařování třením.....</i>	<i>31</i>