Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra materiálu a strojírenské technologie

Spojování tenkých plechů

Bakalářská práce

Vedoucí práce: **Prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

Autor práce: **Antonín Solfronk**

Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Antonín Solfronk

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Spojování tenkých plechů

Název anglicky

Joining of thin metal sheets

Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách spojování tenkých plechů.

Metodika

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

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

tenké plechy, spojování tenkých plechů, pevnost spojů tenkých plechů

Doporučené zdroje informací

BLAŠČÍK, F. aj.: Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvárania. Bratislava, ALFA 1987.
BÖHLER UDDEHOLM CZ spol. s r.o.: Pájení. Praha, Böhler Uddeholm CZ spol. s r.o. 2003.
Časopisy: MM Průmyslové spektrum, SDSM (Svařování, dělení, spojování materiálů), Strojárstvo / Strojírenství, Svět svaru, Technický týdeník, Technik, Zváranie / Svařování.
Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.
HOLÁSEK, J.: Odporové zváranie. Bratislava, SVTL 1968.
KOMÁREK, Z.: Prehĺad lepidiel. Bratislava, ALFA 1986.
Normy ČSN, ČSN ISO, ČSN EN, DIN, DIN, BS, ASTM, ASME, GOST,
PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha, SNTL 1980.
ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004.
RUŽA, V.: Pájení. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988.
Sborník semináře Moderní technologie pro spojování tenkých plechů . Praha, SVZP 1997.
STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals, 1983.
WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Elektronicky schváleno dne 3. 1. 2014

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci na téma “Spojování tenkých plechů“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne: 3. 4. 2015 Podpis: . . . . . .

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc., za ochotu, rady, náměty a připomínky, kterými přispěl k vypracování bakalářské práce a také za čas, který mi věnoval. Zároveň bych chtěl poděkovat všem svým blízkým za podporu a trpělivost během celé doby studia.

Abstrakt: Cílem této bakalářské práce bylo shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách spojování tenkých plechů. V úvodní kapitole „Podstata, výhody a nevýhody různých technologií spojování tenkých plechů“ je vysvětlen pojem „tenký plech“ a je provedena kategorizace spojů, dále jsou obecně popsány jednotlivé technologie spojování tenkých plechů. Mezi tyto technologie se řadí především svařování, nýtování, pájení a lepení. Dále jsou popsány jednotlivé metody technologií, především ty, které se využívají v průmyslu, nebo ty, které jsou zásadní pro pochopení celé technologie. Kapitola „Praktické použití vybraných metod spojování tenkých plechů“ se zabývá reálným využitím metod v průmyslové praxi a to především v automobilovém průmyslu. Závěrem práce je obecné shrnutí problematiky spojování tenkých plechů.

Klíčová slova: tenké plechy, spojování tenkých plechů, pevnost spojů tenkých plechů

Joining of thin metal sheets

Summary: The aim of the bachelor thesis was collect the literary knowledge about options and methods of joining of thin metal sheets. Thesis consists of two main parts. In the first part of thesis there is defined thin metal sheet. These part also describes categorization of joining and is focused on describing of each technology in joining of thin metal sheets. Between these technologies belong welding, riveting, brazing and bonding. The second part of this work is focused on practical using in industry, mainly in automotive industry. In conclusion of the work is described the general summary of possibilities of joining of thin metal sheets.

Key words: thin sheets, joining of thin sheets, strenght of joints of thin sheets

1 ÚVOD 1
2 PODSTATA, VÝHODY A NEVÝHODY RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ SPOJOVÁNÍ TENKÝCH PLECHŮ 2
2.1 PLECHY 2
2.2 SPOJE 3
2.3 SVAROVÉ SPOJE 4
2.3.1 Podstata 4
2.3.2 Svařitelnost 5
2.3.3 Výhody a nevýhody svarových spojů 6
2.3.4 Metody svařování 6
2.4 NÝTOVÉ SPOJE 12
2.4.1 Podstata 12
2.4.2 Nýty 12
2.4.3 Výhody a nevýhody nýtových spojů 13
2.4.4 Metody nýtování 14
2.5 PÁJENÉ SPOJE 20
2.5.1 Podstata 20
2.5.2 Přídavný materiál pro pájení 20
2.5.3 Výhody a nevýhody pájených spojů 21
2.5.4 Metody pájení 22
2.6 LEPENÉ SPOJE 23
2.6.1 Podstata 23
2.6.2 Rozdělení lepidel 24
2.6.3 Výhody a nevýhody lepených spojů 24
3 PRAKTICKÉ POUŽITÍ VYBRANÝCH METOD SPOJOVÁNÍ TENKÝCH PLECHŮ 26
3.1 VYUŽITÍ VYBRANÝCH METOD V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU 26
3.1.1 Svařování 26
3.1.2 Nýtování 26
3.1.3 Lepení 27
3.2 VYUŽITÍ VYBRANÝCH METOD V PRŮMYSLU OBECNĚ 27
3.2.1 Svařování 28
3.2.2 Nýtování 28
4 ZÁVĚR 29
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 30

1 ÚVOD

Technologie strojírenského průmyslu nalezly ve své historii celou řadu metod, kterými je možné spojit součásti. Většina z nich má svůj původ již ve starověku a byly v nezměněné podobě využívány dlouhá staletí. Až průmyslová revoluce a hromadná výroba vytvořila vysokou poptávku po inovacích v technologii spojování součástí. A to z důvodů snižování nákladů na výrobu, zlepšení vlastností výrobků a řízení procesů výroby.

Mnoho spojů bylo tvořeno v oblasti spojování tenkých plechů, které tvořily kryty, karoserie vozidel, nosné konstrukce, různé konstrukční díly atd. Vytvořila se tak samostatná specifická oblast spojování součástí. Díky specializaci byly vyvinuty nové technologie v oblastech, jako je svařování, nýtování, lepení nebo pájení.

S nástupem nových technologií lze dosahovat kvalitnějších, levnějších a rychlejších spojů tenkých plechů. Tyto technologie jsou stále složitější a vyžadují výborné znalosti při aplikování v praxi. Proto je dnes tolik specializovaných firem, které se většinou zabývají konkrétní metodou spojování, a tudíž jsou schopny ve svém oboru nabídnout kvalitní a inovativní služby.

Cílem této bakalářské práce je shromáždit literární poznatky o možnostech a metodách spojování tenkých plechů tak, aby čtenář získal konkrétní představu o jednotlivých metodách, se kterými se lze setkat v praxi. A to především v automobilovém průmyslu, jelikož toto odvětví tvoří značnou část z celkového objemu průmyslu a je hlavním inovátorem strojírenských technologií.

V teoretické části práce jsou shromážděny dostupné literární poznatky, které popisují jednotlivé technologie a jejich kladné a záporné stránky. Avšak jednotlivé technologie nelze přímo srovnávat, jelikož jejich vlastnosti mají rozdílnou preferenci v určité aplikaci, nebo mohou být tyto vlastnosti pro danou aplikaci nevhodnými. Přesto by tato kapitola měla čtenáři poskytnout kvalitní přehled o možnostech spojování tenkých plechů.

Druhá část popisuje za pomocí příkladů použití vybraných metod spojování tenkých plechů v praxi a vysvětluje důvod pro volbu dané technologie.

Celá práce je koncipována tak, aby zastoupení jednotlivých metod spojování tenkých plechů odpovídalo přibližnému zastoupení v průmyslové výrobě a to zejména automobilové.

2 PODSTATA, VÝHODY A NEVÝHODY RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ SPOJOVÁNÍ TENKÝCH PLECHŮ

Při velkém množství různých druhů spojení a konstrukčních podmínek je těžké stanovit všeobecně platná pravidla pro výběr určitého spoje pro konkrétní úlohu. Určení vhodného spoje závisí ve značné míře na zatížení, provozních podmínkách, požadované bezpečnosti, velikosti součástí, počtu vyráběných kusů, stupni automatizace výroby, nárocích spotřebitele i na design (vzhled). Má-li být spoj optimálně navržen, nelze jej posuzovat izolovaně, ale v souvislosti s celkovou konstrukcí nebo v celé montážní skupině. Proto se hovoří o systémové optimalizaci a uživatel musí pro každou zadanou úlohu stanovit přesné podmínky, a podle potřeby provést příslušné rozhodnutí [1].

2.1 Plechy

Jedním z nejpoužívanějších polotovarů ve strojírenství jsou hutní polotovary vyráběné tvářením. Protože se tyto polotovary vyrábějí přímo v hutích, nazývají se hutní polotovary. Jsou to normalizované polotovary různých profilů o různé rozměrové a geometrické přesnosti [2].

Ztuhlé ocelové ingoty o hmotnosti kolem 10 t, které jsou konečným výrobkem oceláren, se prohřívají v hlubinných pecích na stejnoměrnou teplotu tváření kolem 1100 °C a válcují se na předvalky. Z těch se poté vyrábějí konečné výrobky (vývalky) válcoven (tyče, kolejnice, plechy, pásy, trubky apod.). Pro spotřebitele je to však stále polotovar [2].

Válcování je tváření kovů rotujícími válci. Materiál je mezi ně vtahován a zároveň stlačován a prodlužován. Podle teploty dělíme na válcování za studena a za tepla. Válcování je komplexní proces, který se využívá pro výrobu mnohých typů polotovarů se specifickými vlastnostmi a přesnostmi tvarů a povrchů. [2].

Plechy se válcují ve válcovacích stolicích s hladkými válci z plochých předvalků (ploštin). Nejprve se válcuje napříč, aby se dosáhlo potřebné šířky plechu. Potom se plech otočí o 90° a válcuje se na délku. Tím se dosáhne stejnoměrné tloušťky a rovnoměrnějších vlastností materiálu v podélném i příčném směru válcování. Podle tloušťky se plechy dělí na tlusté (nad 4,00 mm) a tenké (pod 3,50 mm). Plechy mají rozdílnou povrchovou úpravu,

mohou být pocínované, pozinkované, poolověné, lakované nebo např. potažené ochranou folií [3].

Definice „tenký plech“ se obecně vžila do praxe na základě normy ČSN 42 5301, která platí pro rozměry a objednávání ocelových tenkých plechů tříd 10 až 16 v tloušťkách 0,50 mm až 2,80 mm, válcovaných za tepla nespojitým pochodem (nejpoužívanější polotovary). V praxi se však jako tenké plechy označují kovové materiály do tloušťky 3,50 mm [3].

Mají-li mít plechy hladký povrch, velkou přesnost a dobré mechanické vlastnosti, dokončují se válcováním za studena. Výchozím polotovarem jsou pásy válcované za tepla. Pro tažení nádob a hlubších výlisků se používají hlubokotažné plechy. Jsou to plechy převálcované za studena. Tím získaly dobré mechanické vlastnosti nutné při hlubokém tažení [2].

2.2 Spoje

Spoje rozdělujeme podle principu a podle rozebíratelnosti. Při spojení dvou nebo více součástí, popř. podskupin existují v podstatě tři možnosti [4]:

- Materiálový styk,
- Tvarový styk,
- Silový styk.

Spojení materiálovým stykem je zhotovení nerozebíratelného celku přídavnými materiály. A dělí se na [4]:

- S přídavným materiálem stejného charakteru (Svařování),
- S přídavným materiálem různého charakteru (Pájení, Lepení, Tmelení, Zalití a zatavení).

Při spojení tvarovým stykem se přenášejí síly mezi spojovanými částmi pouze normálovými napětími nebo normálovými silami (tlak) mezi stykovými plochami. A dělí se na [4]:

- Čepové a kolíkové spoje,
- Spoje lícovaným šroubem.

Spojení silovým stykem představuje spojení součástí vzepřením. Síly se přenášejí třením, které je vyvoláno rozpěrnými normálovými silami podle Coulombova zákona. A dělí se na [4]:

- Nýtové spoje,
- Šroubové spoje,
- Svěrné spoje.

Někdy nastává kombinace silového a tvarového styku, např. šroubové spoje jsou silové, jiné tvarové. Nýtové spoje přenášejí napětí a síly jak tlakem – tedy tvarově, tak i třením mezi spojovanými součástmi – tedy silově [4].

Spoje se také rozdělují podle způsobu rozebírání na rozebíratelné a nerozebíratelné. Pod pojmem rozebíratelné rozumíme takové spoje, které je možno vícekrát bez porušení rozebrat a znovu smontovat týmiž spojovacími součástmi [4].

2.3 Svarové spoje

V této kapitole je popsána technologie tvorby svarových spojů.

2.3.1 Podstata

Svařování je definováno jako proces zhotovení nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými součástmi při jejich ohřevu nebo plastické deformaci nebo při společném působení obou [5].

Ze spojů s materiálovým stykem má svařování ve strojírenském průmyslu největší význam. Svařování je spojování kovových (nejčastěji ocelových) součástí, ale i součástí z plastů, v nerozebíratelný celek působením tepla nebo i tlaku a většinou s použitím přídavného materiálu stejného nebo podobného složení a mechanických vlastností jako má materiál spojovaný. Při svařování se spojuje základní a přídavný materiál v tekutém nebo těstovitém stavu [4].

Pro základní dělení svarových spojů je nejčastěji využíváno dělení dle druhu styku spojovaných součástí. Pro tuto práci je však vhodné vybrat pouze ty druhy, které jsou hojně využívány pro spojování tenkých plechů:

- Přeplátovaný – Součásti leží konci přes sebe,

- Rovnoběžný – Součásti leží celou šířkou na sobě,
- Tupý – Součásti leží v jedné rovině.

Dále lze svarové spoje dělit dle typu svaru:

- Tavné svary (Tupé – lemový, svar I, svar V, svar U, svar X,…; Koutové – koutový, rohový, děrový, žlábkový),
- Tlakové svary (Tupé – tupý tlakem, tupý odtavením; Přeplátované – bodový, bradavkový, švový).

2.3.2 Svařitelnost

Způsobilost materiálu k vytváření dobrého svarového spojení tak, aby svar i okolí jím ovlivněné odpovídalo požadavkům na ně kladeným pro daný účel, je svařitelnost [4].

Bezproblémovou svařitelnost vykazují především oceli s nižším obsahem uhlíku (do 0,25 %). Některé slitinové konstrukční oceli však mají svařitelnost lepší než uhlíkové oceli stejné pevnosti. Svařitelnost ocelí na odlitky je podobná jako ocelí válcovaných stejného složení. Šedá litina je velmi obtížně svařitelná. Pro náchylnost k tvoření trhlin a tvrdých míst se používají speciální elektrody a svařované části se předehřívají. Svařitelnost hliníku a většiny jeho slitin je poměrně dobrá, zejména v ochranné atmosféře Zpravidla volíme materiály, u kterých je v materiálových listech svařitelnost zaručená či zaručená podmínečně [4].

Podle chemického složení, tloušťky výrobku a dalších faktorů se svařitelnost zkouší a klasifikuje do následujících skupin [5]:

- 1a – zaručená svařitelnost,
- 1b – svařitelnost zaručená podmíněná,
- 2 – dobrá svařitelnost,
- 3 – obtížná svařitelnost.

Pokud jsou dodrženy technologické podmínky, je možné svařovat i litiny, slitiny titanu, mědi, olova a dalších materiálů.

Metody tavného svařování obvykle vyžadují přídavný materiál do místa svaru. Takto přidaný materiál pod elektrický oblouk nebo plamen se taví a spojuje okolní materiál ve

svarový spoj. Výběr přidávaného materiálu záleží na použité technologii svařování. V současnosti jsou nejvíce využívány svařovací dráty, jelikož může být zajištěno kontinuální podávání a tedy i vysoké automatizace, ale využívají se i pro ruční svařování. Nebo se používají elektrody obalené do keramických nebo kovových látek, jádro tvoří ocelový drát. Obal elektrod výrazně ovlivňuje jejich vlastnosti a při svařování má za úkol:

- Zajistit stabilnější oblouk,
- Čištění svarového kovu,
- Zamezit oxidaci v průběhu svařování.

2.3.3 Výhody a nevýhody svarových spojů

Výhody [4]:

- Lze svařovat automaty, což zvyšuje produktivitu práce,
- Dlouhodobá jakost a pevnost spoje,
- Svařování lze použít i na místech mimo montážní provoz,
- V porovnání s nýtováním je svařování téměř bezhlučné,
- Nádoby svařované z plechu mají oproti nýtovaným hladký povrch a jsou dokonale těsné,
- Mez únavy samotného svarového kovu je u kvalitních elektrod vyšší než základního materiálu stejné pevnosti,
- Jednoduchá možnost oprav sestav.

Nevýhody [4]:

- U konstrukčních ocelí je nutné provést povrchové ošetření svaru
- Návrh svařence je podmíněn svařitelností jednotlivých ocelí, svařitelnost klesá u ocelí s vyšším obsahem uhlíku a s tloušťkou materiálu,
- Často je nutná úprava stykových ploch před svařováním,
- Vzniká pnutí a deformace vlivem nestejnoměrného zahřátí při svařování,
- Vyšší nároky na kvalifikaci pracovníků, některé předpisy vyžadují pravidelné zkoušky svářečů.

2.3.4 Metody svařování

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody svařování.

2.3.4.1 Svařování v ochranné atmosféře

Svařování v ochranné atmosféře je dnes nejpoužívanější metoda svařování kovů. Svary vytvořené pod ochrannou atmosférou se vyznačují vysokou kvalitou a to právě díky rozdílným plynům, tvořící ochrannou atmosféru a různým typům elektrod. Dělíme je na:

- Svařování v ochranné atmosféře inertního plynu s netavící se elektrodou (WIG/TIG),
- Svařování v ochranné atmosféře inertního plynu s tavící se elektrodou (MIG),
- Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu s tavící se elektrodou (MAG).

Každá z těchto metod může mít další modifikace. Plyny, chránící roztavený kov před škodlivými účinky oxidace, musí také ovlivňovat zapálení oblouku, geometrii a energetickou bilanci. Tyto podmínky splňují z inertních plynů nejlépe argon a helium. Vzhledem k vysoké ceně (zejména *He*) se používají především pro svařování korozivzdorných a vysokolegovaných ocelí a neželezných kovů. Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, nebo ocelí na odlitky, se používá jako aktivní plyn levnější oxid uhličitý ve směsích s inertními plyny, nebo kyslík ve směsi s argonem. Samotný oxid uhličitý se v dnešní době používá jen zřídka, protože při jeho použití dochází ke značnému rozstřiku, a tím zvedá náklady při následných operacích. Čistota plynu má přímý vliv na kvalitu ochrany svaru i na životnost netavící se elektrody [6].

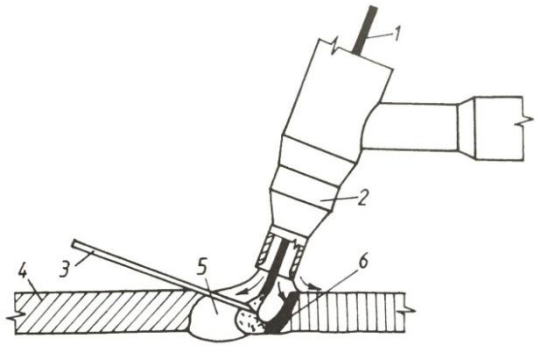
Svařování v ochranné atmosféře inertního plynu s netavící se elektrodou (WIG/TIG)

Metoda WIG (Wolfram Inert Gas, Obr. 1) se využívá hlavně pro svařování korozivzdorných a vysokolegovaných ocelí, mosazi, niklu, lehkých kovů a jejich slitin.

Oblouk hoří v ochranném sloupci Ar (*He* se používá výjimečně, je ho potřeba větší množství a je dražší) mezi wolframovou elektrodou (WP čistý wolfram 99,8 %), wolfram-thoriovou elektrodou (WT 1 – 4 % oxidu thoria), wolfram-ceriovou elektrodou (WC 2 % oxidu ceria), wolfram-lanthanovou elektrodou (WL 1 – 2 % oxidu lanthanu), nebo wolfram-zirkonovou elektrodou (WZ 0,8 % oxidu zirkonu) a svařovaným materiálem. Podle přípravy svarových ploch lze svařovat bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem, který se ve formě drátu, nebo tyčinky dodává do oblouku. Při používání thoriových elektrod je nutné dbát vysokého stupně ochrany, protože thorium je radioaktivní prvek. Pokud jsou tyto elektrody použity, musí se důkladně odsávat při svařování a broušení [6].

Svarový kov je chráněn plynem před přístupem vzduchu a zvyšuje stabilitu oblouku, protože má nízké ionizační napětí. Svařuje se ručně, nebo strojově střídavým nebo stejnosměrným proudem. Zapojí-li se elektroda na plus pól (obrácená polarita), dopadají kladně nabité ionty argonu na povrchovou vrstvu oxidu, kterou rozrušují a čistí. Závar je mělký a široký, elektroda tlustá. Při zapojení elektrody na minus pól (přímá polarita) nemá argon čistící účinky. Závar je úzký a hluboký, elektroda tenká. Při zapojení na střídavý proud se využívá kladné půlperiody k čistícímu účinku argonu. Druh zapojení se volí podle velikosti oxidové vrstvy na svařovaném materiálu [2].

Obr. 1 Princip svařování WIG [6]



1 – netavící se elektroda, 2 – těleso hořáku, 3 – přídavný materiál, 4 – svařovaný materiál, 5 – ochranný plyn, 6 – svarový kov

Svařování v ochranné atmosféře inertního plynu s tavící se elektrodou (MIG)

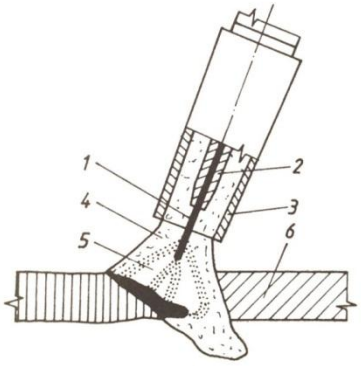
Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu inertního plynu (Obr. 2). Elektroda (holý drát) je plynule dodávána do místa svaru. Výhoda směsného plynu je v zajištění rychlého ohřevu, dostatečné tekutosti a náležitém odplynění roztaveného kovu. Svařuje se stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody [2]. Teplota v oblouku je 12 až 15 tisíc °C, teplo je využíváno z 85 až 90 % [6].

Metoda MIG (Metal Inert Gas) je vhodná ke svařování legovaných ocelí, hliníku, mědi, niklu a jejich slitin. Využívá se zejména ke svařování plechů o tloušťkách větších než 6 mm. Je vhodná pro navařování. Svarový kov se vyznačuje nízkým obsahem plynů a příznivými pevnostními vlastnostmi [6].

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu s tavící se elektrodou (MAG)

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou (holý drát Ø 0,8 až 2,4 mm) a svařovaným materiálem v atmosféře směsného plynu (nejčastěji směs argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem). Svařovací proces se podobá svařování v ochranné atmosféře inertního plynu. Oxid uhličitý však není netečný plyn a při svařování částečně reaguje s tavnou lázní. Jakost svarů se zlepšuje tím, že elektroda je legována manganem a křemíkem, které se slučují s kyslíkem lépe než se železem (tím také dezoxidují tavnou lázeň). Vzniklé oxidy vytvoří na povrchu nepatrné množství strusky. Plyny musí mít čistotu alespoň 99,5 %. Svařuje se výhradně stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody. Teplota oblouku se pohybuje kolem 10 000 °C. Výhodou je nízká cena plynu, čistší prostředí, možnost svařovat i navařovat a velká produktivita. Svařovat se dá ručně i automaticky. Je to nejrozšířenější způsob plynové ochrany, který se u nás používá (vzhledem k relativně nízké ceně plynu). Při svařování ve směsných plynech lze přivádět současně s plynem magnetické tavidlo. Účinkem svařovacího proudu je zmagnetizován drát, na jehož povrchu se tavidlo zachytí. Tavidlo zvyšuje stabilitu elektrického oblouku a chrání svar vrstvou strusky. Svařování s magnetickým tavidlem se používá pro materiály do tloušťky 3 mm [2].

Obr. 2 Princip svařování MIG a MAG [6]



1 – přídavný materiál, 2 – přívod proudu, 3 – tryska ochranného plynu, 4 – ochranný plyn, 5 – oblouk, 6 – svařovaný materiál

2.3.4.2 Bodové svařování

Jedná se o velmi využívanou metodu. Svařované materiály (plechy nebo ploché tvářené profily) se vloží mezi elektrody zajišťující kromě přívodu proudu pro odporový ohřev také přenos přítlačné síly. Po stlačení svařovaných součástí se zapne elektrický obvod. Vlivem

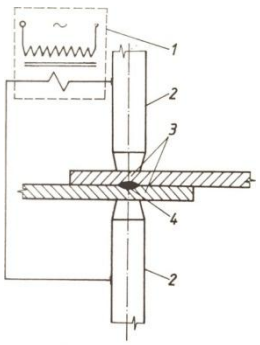
elektrického odporu v místě budoucího svaru se vyvine v poměrně krátkém čase takové teplo, že se materiály na stykové ploše začnou tavit. Vznikne tzv. svarová čočka, jejíž velikost je dána plochou styku elektrod se svařovanými materiály a vyvinutým teplem. Po uplynutí nastaveného svařovacího času se proud automaticky vypne. Svařovací cyklus svářečky však musí zajistit trvalý přítlak elektrody až do doby, kdy roztavený kov ve svarové čočce ztuhne [6].

Povrch svařovaných plechů musí být před svařováním zbaven rzi, okují, mastnoty a jiných nečistot, proto se mechanicky nebo jinak čistí. S čistotou povrchu plechů souvisí také životnost nejvíce namáhaných dílů bodové svářečky – elektrod. Elektrody určují velikostí a tvarem dosedacích ploch také ergonomii svaru. Jsou vyrobeny nejčastěji ze slitin mědi, chromu a zirkonu lisováním, nebo soustružením a zevnitř jsou chlazeny vodou, nebo vzduchem. Jsou kruhového průřezu s tvarem dosedací plochy [6].

Svařovací tlak se volí s ohledem na rovinnost a čistotu svařovaných plechů tak, aby se při menších nerovnostech zajistilo jejich dosednutí a dokonalý průchod svařovacího proudu v místě svaru. Při malém svařovacím tlaku se zvětšuje přechodový odpor mezi svařovaným materiálem a elektrodou. Materiál se v těchto místech více zahřívá, což vede k hlubším vtiskům, opalování a „lepení“ elektrod. Neúměrně vysoký tlak zase bývá příčinou rychlé deformace konců elektrod, a tím i špatné jakosti svarů. Při zvětšení dosedací plochy elektrody asi o 35 % je nutné elektrody upravit nebo vyměnit [6].

Pro bodové svařování (Obr. 3) se používá buď stabilních, nebo závěsných přenosných bodových svářeček. V hromadné a velkosériové výrobě se pro zvýšení produktivity používá vícebodových stabilních svářeček s různým uspořádáním elektrod [6].

Obr. 3 Princip bodového svařování [6]



1 – svařovací transformátor, 2 – elektroda, 3 – svařované materiály, 4 – svarová čočka

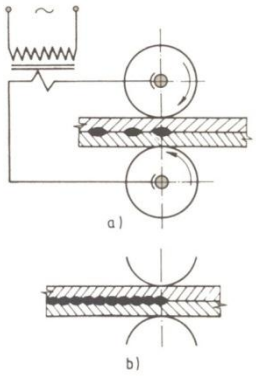
2.3.4.3 Švové svařování

Používá se ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysokolegovaných ocelí, hliníku, mědi, niklu a jejich slitin. Tloušťky svařovaných materiálů mohou být menší než 1 mm, obvykle však 1 až 10 mm. Touto metodou lze vyrábět např. různé nádobky, skříně, vzduchotechnická zařízení, trubky, součásti karosérií, plechové radiátory atd. [6].

Přítlačná síla je vyvozována dvěma proti sobě se otáčejícími kotoučovými elektrodami (Obr. 4), nebo kotoučovou elektrodou proti desce. Svařovací proud je zapínán v intervalech, jejichž frekvence vztažená k obvodové rychlosti elektrod umožnuje vytvářet svarové spoje pevné nebo pevné a těsné [6].

Jakost švového svaru ovlivňuje zejména svařovací proud, svařovací tlak, rychlost svařování, svařovací cyklus a rozměry a konstrukce svařovacích elektrod [6].

Obr. 4 Princip švového svařování [6]

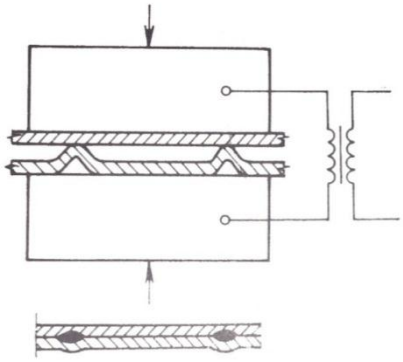


a) pevný svar, b) pevný a těsný svar

2.3.4.4 Výstupkové svařování

Je určeno ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných i vysokolegovaných ocelí, hliníku, mědi, niklu a jejich slitin především v hromadné výrobě na svařovacích lisech. Tloušťka svařovaných materiálů bývá od několika desetin mm asi do 100 mm. Při svařování plechů musí být na jednom z nich lisováním vytvořeny výstupky (Obr. 5). Mohou se svařovat i materiály s ochrannými povlaky, např. z plastů. Výstupkové svařování se používá při výrobě spotřebních předmětů, součástí transportních, elektrotechnických zařízení atd. [6].

Obr. 5 Výstupkové svařování [6]



2.4 Nýtové spoje

V této kapitole je popsána technologie nýtování.

2.4.1 Podstata

Nýtování je proces spojování dvou nebo více součástí. Jedná se o nerozebíratelné spojení součástí, kdy konec jedné součásti je deformován po vložení do díry v druhé součásti (přímé nýtování), nebo je využito nýtu, který je vložen do průchozích děr ve spojovaných součástech (nepřímé nýtování) [4].

Plný nýt, jehož válcový dřík se rozpěchováním zformuje v závěrnou hlavu, je nejstarším spojovacím prvkem. V Řecku byl používán ke spojení bronzových dílů již před 2500 lety a průmyslově je stále ještě využíván i dnes. Mnohé staré impozantní stavby s nýtovanými konstrukcemi, obzvláště z druhé poloviny 19. století, se staly známými za hranicemi svých zemí. Proslulým příkladem je Eiffelova věž v Paříži, postavená Alexandrem Gustavem Eiffelem u příležitosti Světové výstavy 1889 [7].

2.4.2 Nýty

S postupným vývojem nýtování byly kladeny vysoké nároky na kvalitu spoje, a proto byly vyvíjeny nové typy nýtů. V dnešní době lze vybírat z celé řady nýtů, buď podle nároků na pevnost spoje, jednoduchost instalace, finanční náklady nebo speciálních požadavků na nýtový spoj.

Z historického hlediska je nejpoužívanější plný nýt, který se objevuje na celé řadě staveb, např. na již zmíněné Eiffelově věži, Petřínské rozhledně a na celé řadě mostových

konstrukcí. Na těchto konstrukcích byly využívány nýtové spoje zejména pro své vlastnosti, jako je odolnost vůči vibracím a odolnost celé konstrukce vůči teplotním změnám. Plné nýty lze nýtovat za studena nebo za tepla. Nýtování za tepla má dvě hlavní výhody oproti nýtování za studena – tvářecí síla je menší a po ochladnutí dochází k předepnutí nýtu, tím se materiály stáhnou více k sobě a dochází k většímu tření mezi součástmi. Tato metoda nýtování byla využita při stavbě Petřínské rozhledny. Pomocníci pod rozhlednou nahřívali nýty k sesazování dílů a házeli je nahoru konstruktérům, kteří je zachycovali kleštěmi. Tento typ nýtovaných konstrukcí nahradil konstrukce svařované již v první polovině 20. století [8].

Plné nýty přetrvaly až dodnes. Jen pro jejich nýtování jsou již využívány sofistikovanější metody, kovářské nýtování nahradilo lisování v ose nýtu, poté orbitální nýtování a nejmladší metodou je nýtování radiální, kdy nýtovací nástroj opisuje hypocykloidní smyčkovou dráhu [7].

V současné době jsou hlavně využívány jednostranně přístupné nýty. Vkládají se do díry z jedné strany, z té strany jsou i tvářeny. Jejich hlavní skupina je známá pod označením POP (anglické citoslovce pro prasknutí), nebo trhací nýty. Využívají se zejména při výrobě letadel, karosérií, fasád budov, v automobilovém průmyslu a mnoha dalších odvětvích [9].

2.4.3 Výhody a nevýhody nýtových spojů

Výhody:

- Nýtový spoj dovoluje pružit, daleko lépe než spoj svařovaný,
- Nedochází ke zvlnění plechů lokálním nahromaděním tepla, jak tomu dochází u svařování,
- Velmi levný spojovací prvek,
- Lze nýtovat vysokou rychlostí,
- Technologie nevyžaduje zvláštní školení,
- Nýtový spoj odolává vibracím,
- Každý jednotlivý nýtový spoj lze efektivně kontrolovat,
- Lze spojovat odlišné materiály.

Nevýhody:

- Nýtový spoj lze rozebrat pouze při porušení spojovaného materiálu nebo nýtu,

- Je nutné nejdříve vytvořit přesný otvor pro nýt,
- Otvory pro nýty oslabují spojovanou sestavu,
- Vzniká lokální pnutí,
- Některé metody nýtování jsou hlučné.

2.4.4 Metody nýtování

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody nýtování.

2.4.4.1 Kovářské nýtování

Kovářské nýtování je nejstarší metoda výroby nýtového spoje. Byla používána již ve starověku. V minulosti byla hojně využívána k výrobě nosných konstrukcí, např. mostů, věží nebo i kotlů. Dnes se s touto metodou můžeme setkat především v použití pro účely uměleckého kování. V průmyslové výrobě již není využívána [10].

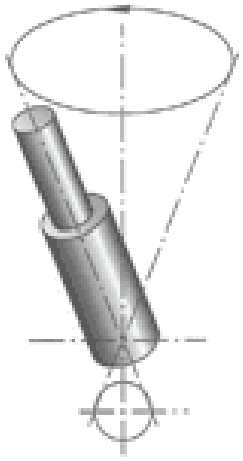
Pro vytvoření nýtového spoje touto metodou jsou potřeba základních nástrojů, a to:

- Podpěrný hlavičkář – Slouží jako podpěra nýtu. Tvar nástroje kopíruje tvar hlavy nýtu, tak aby nedocházelo k deformaci hlavy nýtu.,
- Závěrný hlavičkář – Nástroj sloužící pro vytvoření hlavy nýtu,
- Kladivo – Lze použít standardní, nebo pneumatické,
- Utahovák – Trubkový nástroj stejného průměru jako je nýt, používá se pro srovnání dosedacích ploch,
- Tužlík – Nástroj pro dokončovací operace, především utužování nýtového spoje.

2.4.4.2 Orbitální nýtování

Orbitální nýtování současná průmyslová metoda nýtování plných nýtů. Tato metoda je velmi jednoduchá, levná a rychlá. Jedná se o proces nýtování za studena. Nýtovací nástroj se otáčí pod úhlem od 1° do 8° od osy nýtu. Nástroj opisuje kužel, jehož vrchol leží v těžišti hlavy nýtu, rychlostí 1500 až 3000 otáček za minutu (Obr. 5). Tento proces snižuje potřebnou tvářecí síly až o 80 % oproti klasickému lisu [11].

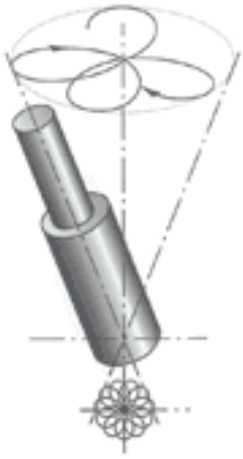
Obr. 5 Princip orbitálního nýtování [11]



2.4.4.3 Radiální nýtování

Jde o nejvyspělejší metodu nýtování plných nýtů. Radiální nýtování vychází svým principem z nýtování orbitálního. Na místo kuželu však opisuje hypocykloidní smyčku (Obr. 6). To je způsobeno proměnným úhlem odklonění nástroje od osy. Tváření nýtu je prováděno bodovým dotykem, kdy je materiál válcován ze středu směrem ven. Radiálním nýtováním lze dosáhnout lepší struktury materiálu a tedy i nýtového spoje v porovnání s lisováním nebo orbitálním nýtováním, ale čas nýtování je vyšší než u těchto metod. Hlava nýtu je velmi hladká [12], [13].

Obr. 6 Princip radiálního nýtování [11]



2.4.4.4 Nýtování jednostranně přístupnými nýty

Jedná se o nejrozmanitější oblast v oboru nýtování. Tyto nýty se vyznačují odolností vůči opakujícímu se namáhání a odolností vůči únavě. V současnosti používaný jednostranně uzavíraný nýt má podobu dvoudílného spojovacího prvku. Skládá se z nýtovacího pouzdra a nýtovacího trnu s místem pro přelom. Hlavním úkolem trnu je zformovat závěrnou hlavu na slepé straně spoje. Nejčastěji se nazývají trhacími nýty (Obr.7) [7].

Obr. 7 Trhací nýt [14]

Kromě obvyklých jednostranně uzavíraných nýtů existují rovněž nýty s dodatečnými funkcemi, které mohou převzít vedle požadavku na spojení i jiné úkoly. Tak např. u jednostranně uzavírané nýtové matice tvoří nýt základní prvek, který pak lze navzájem spojit s jinými konstrukčními díly. Mimo to nese matice jednostranně uzavíraného nýtu také vnitřní závit (minimálně šest závitových stoupání). Takové nýty nebývají mnohdy používány ani tak kvůli spojení, nýbrž v první řadě pro svou přídavnou úlohu (Obr. 8). Není například možné řezat nosný závit do hliníkového či ocelového plechu 0,5 mm tlustého. Naproti tomu maticové nebo šroubové jednostranně uzavírané nýty lze zpracovávat již u součástí o tloušťce 0,25 mm. Důležitý je také vedlejší účinek, že maticové nebo šroubové nýty konstrukční části, určené ke spojení, navíc ještě stabilizují [7].

Obr. 8 Maticový nýt [14]

Jak již bylo uvedeno, je jednostranně uzavíraný nýt dvoudílným spojovacím prvkem, sestávajícím z nýtového pouzdra a trnu nýtu, který má většinou místo pro přelom. Protože trn musí tvarově deformovat pouzdro, je nutné, aby byl oproti němu z tvrdšího materiálu [7].

Volba materiálu má vliv na chování nýtu, jako je pevnost a odolnost proti korozi a určuje rovněž jeho cenu. Mimoto musí být materiál jednostranně uzavíraného nýtu sladěn s právě použitými materiály konstrukčního dílu [7].

Pro vytváření spojů jednostranně uzavíranými nýty platí následující zásady [7]:

- Odstupy nýtů volit tak, aby při namáhání tlakem nedocházelo k vyboulení konstrukčních dílů mezi nýty,
- Jednostranně uzavírané nýty se zápustnou hlavou jsou v případě tenkých konstrukčních dílů méně únosné než nýty s kulovou hlavou,
- Pro nepropustné nýtování je dobré zvolit pokud možno dvouřadové nýtové spoje s malými odstupy mezi nýty. Vhodné pro těsnost povrchu je přesazené nýtování v řadách.

Montáž spojů s jednostranně uzavíranými nýty lze provést pneumaticky (Obr. 9) nebo hydraulicky anebo pomocí ručně obsluhovaného nářadí. Je zpravidla jednoduchá a bez problémů. Zpracování jednostranně uzavíraných nýtů je velmi snadné a hospodárné. Za minutu lze s jednoduchými pneumatickými nebo hydraulickými nástroji vsadit 15 až 22 nýtů. Pro zpracování není zapotřebí odborníků ani kvalifikací. Toto umožnění montáže z jedné strany (bez přidržování na druhé straně konstrukčního dílu) dovolilo nejen úplně jiné konstrukce, ale snížilo také automaticky montážní časy a náklady [7].

Obr. 9 Ruční pneumaticko-hydraulické nářadí pro jednostranné trhací nýty [14]

Vývoj trhacích a maticových nýtů se ustálil, zato vývoj nýtovacího nářadí zaznamenal v posledních 30- ti letech obrovský pokrok. Požadavky zákazníků si vyžádaly sofistikovaná řešení, která se postupem času stávají standardem v sériové výrobě.

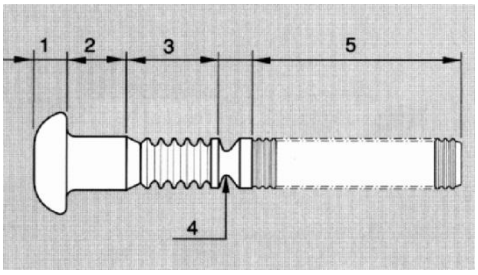
Trendem v průmyslové výrobě je používat poloautomatické a automatické procesy a tyto procesy kontrolovat, tak aby každý jednotlivý spoj byl kvalitní. Vyvinutím nýtovacích hlav byla splněna první podmínka, kterou je kompaktnost nýtovacího zařízení. Nýtovací hlavy mohou být umístěny do automatické linky a jsou poháněny buď hydraulicky, pneumaticky nebo kombinovaně. Přidáním různých čidel do systému lze celý proces nýtování vyhodnocovat a poskytnout kvalitní data pro vyhodnocení kvality nýtového spoje. Pokud systém vyhodnotí neshodný nýtový spoj, upozorní obsluhu, popřípadě zastaví celý proces, dokud není problém vyřešen. Výsledná data jsou ukládána a využívají se pro zpětnou kontrolu nebo například jako doklad kvality nýtového spoje [14].

2.4.4.5 Svorníkové systémy s tvarovacím prstencem

Pod svorníkovým systémem s tvarovacím prstencem se rozumí sestava svorníku, tvarovací prstencem, tvarovací nástroj pro zpracování. Tento systém byl vyvinut před asi 50 lety pro kosmické lety. Tento systém spojuje vlastnosti plného nýtu a vysoce pevnostního předepjatého šroubu v jednom elementu [15].

Konstantně vysoké předepnutí automaticky zahrnuté do zpracování je jednou z podstatných předností tohoto systému. Umožněno je to radiálním tvarováním materiálu uzavíracího prstence do paralelních tvarovacích (uzavíracích) drážek svorníku (Obr. 10) a dodatečného axiálního prodloužení uzavíracího (tvarovacího) prstence. Přitom nehrají roli ani třecí koeficienty, ani nedochází k torzi svorníku [15].

Obr. 10 Funkční části svorníku [15]



1 – Plochá, zaoblená nebo zapuštěná hlava, 2 – Hladký dřík, 3 – Tvarovací drážky, 4 – Místo očekávaného lomu, 5 – Tahová část

Kleštiny nýtovacího nářadí uchopí svorník za tahovou část a začnou dotlačovat spojované materiály k sobě přes závěrný kroužek a vytvářet napětí v nýtu. V nýtovací hubici je vytvořený kónus, který začne stlačovat kroužek radiálně do tvarovacích drážek, po překonání

kritické síly se nýt utrhne. Nářadí používané k tomuto procesu (Obr. 11) je velmi podobné nářadí na klasické trhací nýty, jsou však kladeny veliké nároky na hubici, která tvaruje kroužek.

Obr. 11 Ruční pneumaticko-hydraulické nářadí pro svorníkové systémy s tvarovacím prstencem [14]

2.4.4.6 Spojování narážecím nýtem

Jedná se o metodu, kdy je ke spojení plechů využit polodutý nýt. Nýt je vpraven tiše do materiálu, bez předděrování, kde vytvoří tvarový a silový spoj. Nýt prorazí horní vrstvy materiálu a v poslední vrstvě se rozevře do tvaru matrice, která podepírá spojované materiály a dodává tvar materiálu, který je vytlačen. Jelikož není poslední vrstva nýtem proražena, vzniká vodotěsný a plynotěsný spoj [16].

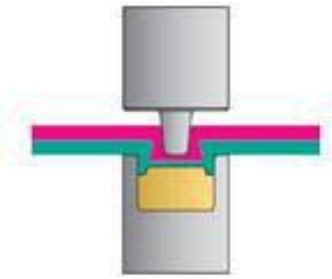
Tuto metodu lze aplikovat do automatických linek nebo lze využívat pouze ruční nářadí. Spoj je nenáročný na prostorové umístění v konstrukčních dílech a nevyžaduje vysoké tolerance na vzájemnou polohu konstrukčních dílů. Lze spojovat jak plechy stejných tlouštěk a materiálů, tak rozdílných tlouštěk a rozmanitých materiálů, jakož to i nekovových materiálů. Jednotlivé vrstvy lze i lepit, pro lepší vlastnosti sestav [16].

2.4.4.7 Spojování metodou clinching

Tento proces nýtování je způsob spojování plechů lokálním tváření za studena, bez použití přídavného materiálu. Nástroj je většinou obyčejný válcový razník, který vytáhne spojované materiály do tvaru matrice, která podepírá spojované místo (Obr. 12). Jak se síla na materiál během procesu zvyšuje, materiál je nucen šířit se směrem ven od razníku a kopírovat

tvar matrice. Výsledkem je zámkový třecí spoj mezi dvěma nebo více vrstvami materiálu [17], [18].

Obr. 12 Princip metody clinching [18]



2.5 Pájené spoje

V této kapitole je popsána technologie pájení.

2.5.1 Podstata

Pájení se řadí do oblasti nerozebíratelných spojení kovů a to stejného nebo rozdílného chemického složení jiným roztaveným kovem neboli pájkou. Spojení dochází pomocí difúze pájky do spojovaného materiálu. Teplota tavení pájky je vždy nižší než teplota tavení spojovaného materiálu. Další základní vlastností je, že spoj má vždy horší mechanické vlastnosti, než základní materiál. Na pájky jsou kladeny základní nezbytné nároky, a to na [2]:

- Roztékavost – je to schopnost pájky roztéci se po vodorovné ploše základního materiálu. Je měřena plocha jakou zaujme přesně daný vzorek pájky.
- Vzlínavost – je to schopnost pájky vyplňovat úzké mezery a vzlínat do nich,
- Smáčivost – je to schopnost pájky přilnout k čistému povrchu základního materiálu.

Pájky lze rozdělit dle teplot, při kterých se taví:

- Měkké pájky – pracovní teplota pájky je do 450°C,
- Tvrdé pájky – pracovní teplota pájky je nad 450°C.

2.5.2 Přídavný materiál pro pájení

V této kapitole jsou popsány přídavné materiály využívané k pájení.

2.5.2.1 Tavidla

Tavidla jsou kapalné nebo tuhé chemické látky, které kladným způsobem ovlivňují proces pájení. Jejich hlavním úkolem je odstraňovat z pájených ploch nečistoty, oxidy, zabraňovat další oxidaci a zlepšovat smáčivost pájky [2].

2.5.2.2 Měkké pájení

Měkké pájky se vyznačují především teplotou tavení do 450°C. Jako základní materiály se využívají především slitiny cínu a olova v kombinaci s Cd, Sb, Bi, In, Zr. Olovnaté pájky jsou však zakázány používat v elektronice, proto jsou využívány pájky slitin Sn, Cd, Zn. Jsou dodávány ve formě tyčinek, pásků, drátů nebo trubiček s tavidlem. Měkké pájky se používají pro spoje, kde je dostatečná pevnost 20 až 60 MPa [2].

Jako tavidlo pro měkké pájení se používá roztok chloridu zinečnatého, nebo amoniaková sůl. V oblasti elektroniky je využívána kalafuna, která nemá leptavé účinky. Tavidlo by se mělo po pájení očistit [1].

2.5.2.3 Tvrdé pájení

Tvrdé pájky jsou materiály na bázi slitin mědi, hliníku a stříbra. Tyto slitiny mají obecně teplotu tavení nad 450°C. Jsou dodávány ve formě drátu, pásku, prášků, tyčinek nebo tyčinek obalených tavidlem. Používají se hlavně pro spojování polotovarů z oceli a neželezných slitin pro spoje s pevností až 500 MPa [2].

Základním složkou tavidel pro tvrdé pájení jsou boritany, krystalický a bezolovnatý borax a kyselina boritá. Pro tvrdé pájení kovů jako je hliník nebo titan se využívají tavidla ze směsí chloridů, fluoridů, fluoroboritanů apod. Zbytky tavidel působí korozi, proto musí být po pájení odstraněny [1].

2.5.3 Výhody a nevýhody pájených spojů

Výhody:

- Možnost spojení různých i obtížně tavitelných kovových materiálů.
- Vhodné pro spojování tenkých materiálů, protože nedochází k vnitřnímu pnutí. Pájky mají vždy nižší teplotu tavení než materiály spojované.

- Nižší spotřeba energie v porovnání se svařováním.
- Možnost automatizace.
- Velká povrchová přesnost a dobrý vzhled povrchu.

Nevýhody:

- Nižší pevnost v porovnání se svařováním.
- Vysoká závislost vlastností spoje na technologických parametrech pájky, mezeře atd.

2.5.4 Metody pájení

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody pájení.

2.5.4.1 MIG pájení

Jedná se o metodu pájení natvrdo odvozenou od MIG svařování. Energie potřebná pro roztavení pájky je dodávána elektrickým obloukem, stejně jako při svařování, ale nedochází k natavení spojovaných součástí. Pro spojování součástí ze slitin mědi s křemíkem a zinkem a pozinkovaných ocelových plechů se používá pájka CuSi3. Teplota tání přídavného materiálu je 800 – 1080 °C. Díky příznivé teplotě si spojované materiály zachovávají své vlastnosti a nedochází k výraznému poškození povrchu součásti v okolí spoje [19].

Díky těmto vlastnostem si metoda získává na oblibě, především v automobilovém průmyslu, kde jsou využívány galvanicky pokovené plechy [19].

2.5.4.2 Pájení laserem

Podobně jako MIG pájení i pájení laserem si stává oblíbeným především kvůli svým vlastnostem, kterými může vyhovět požadavkům v automobilovém průmyslu. Teplo je do oblasti spoje dodáváno laserovým paprskem přesně do místa, kde je potřeba. Metoda je velmi efektivní a dochází ještě k menšímu ovlivnění spojovaných součástí, než u MIG pájení i rychlost pájení je vyšší. Spoje vytvořené laserovým pájením mají velmi hladký povrch svaru a zpravidla nevyžadují žádnou další dokončovací operaci [20].

Principem laserového pájení natvrdo je pájení drátu paprskem laseru. Podavač zavádí do svaru pájecí drát, laserový paprsek jej kontinuálně taví, pájka tak zatéká mezi součásti a tvoří pájený spoj. Nejčastěji je používaná pájka CuSi3 pro spojování pozinkovaných ocelových

plechů. Tuto pájecí metodu lze realizovat pouze automaticky z důvodu bezpečnosti. Laserová optika musí být v uzavřeném prostoru, aby nedošlo k poranění očí, pro monitorování procesu se využívají kamery [20].

2.5.4.3 Pájení plamenem

Jedná se o nejběžnější druh ohřevu, ale v automatizaci málo využívaný. Požadavky na plamen jsou určeny především druhem použité pájky, spojovaného materiálu a tavidla. Teplota plamene je určena především použitými plyny. Pro tvrdé pájení je často využíváno kyslíko-acetylenového plamene, hlavně pro pájky s vyšší pracovní teplotou jako je např. mosaz a při velké tloušťce. Pro tvrdé hliníkové pájky jsou používány směsi propan-kyslík, propan-butan a kyslík, které jsou vhodné i pro měkké pájení, nebo směs s mírným obsahem acetylenu [21].

2.6 Lepené spoje

V této kapitole je popsána technologie lepení.

2.6.1 Podstata

Lepení je technologický proces spojení součástí (adherentů) za pomoci lepidel (adheziv) v nerozebíratelný spoj, při kterém jsou využity adhezivní síly mezi adherentem a lepidlem a vlastní koheze lepidla (Obr. 13). V současnosti lze lepením částečně nahradit konvenční způsoby spojování součástí, jako je svařování, pájení, nýtování apod. Lepení součástí závisí na konstrukčním řešení lepeného spoje, velikosti a tvaru součástí a celkové technologii výroby [1].

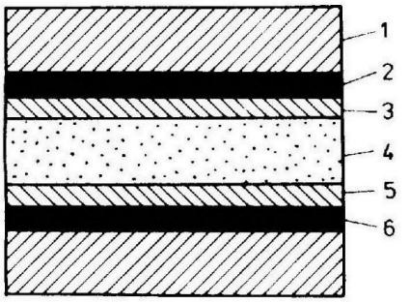
Adheze

Adheze neboli přilnavost, je definována jako síla přilnavosti na styčných plochách v nerovnostech a pórech materiálu. Tyto síly se ve fyzice nazývají Van der Waalsovy síly. Jsou to slabé přitažlivé síly mezi nepolárními molekulami.

Koheze

Koheze neboli soudržnost, je síla působící přímo v lepidle a vyjadřuje jeho soudržnost. Tato síla má dvě základní složky, a to sílu působící mezi molekulami lepidla (Van der Waalsova) a sílu díky propletení polymerických sloučenin.

Obr. 13 Princip lepeného spoje [22]



1 – Spojovaná součást (adherent), 2 – adhezní zóna, 3 – přechodová kohezní zóna, 4 – kohezní zóna, 5 - přechodová kohezní zóna, 6 – adhezní zóna.

2.6.2 Rozdělení lepidel

Lepidla lze rozdělit podle několika hledisek, pro základní dělení lze využít chemické složení lepidel. Rozdělení se provádí dle původu základní složky lepidla, na [22]:

- Přírodní (Organického původu, Anorganického původu),
- Syntetická (Reaktoplastická, Termoplastická, Elastomerová, Směsná)

Další možné rozdělení je dle fyzikálního charakteru, na [22]:

- Pevná
- Polopevná
- Tekutá (Roztoková, Disperzní, Pasty, Pěny)

Nebo je možné pro reaktivní lepidla využít rozdělení podle typu reakce, který je potřebný pro vytvrdnutí lepidla.

2.6.3 Výhody a nevýhody lepených spojů

Výhody:

- Lepené konstrukce nezeslabují nosný průřez součástí,
- Materiál není tepelně namáhán,
- Je možné spojovat velmi tenké materiály,
- Těsnost spoje, odolnost vůči korozi,

- Je možné zhotovit pružný spoj.

Nevýhody:

- Pro lepení je většinou nutné dokonalé očištění lepených ploch,
- Často je nutné dodržet technologickou dobu, po kterou nelze spoj plně zatěžovat, do doby než lepidlo vytvrdne,
- Pro určitá lepidla je nutné použít vytvrzovací prostředky,
- Lepidla mají špatnou odolnost vůči vysokým teplotám a odlupování.

3 PRAKTICKÉ POUŽITÍ VYBRANÝCH METOD SPOJOVÁNÍ TENKÝCH PLECHŮ

Tato kapitola popisuje současný stav využití různých technologií spojování tenkých plechů v praxi a to především v hromadné výrobě, která je v současné společnosti hlavně reprezentována automobilovou produkcí. Samozřejmě jsou tyto metody zastoupeny také v leteckém průmyslu, nebo při výrobě spotřebního zboží, jako je elektronika, ruční nářadí, nebo v neposlední řadě bílá technika.

3.1 Využití vybraných metod v automobilovém průmyslu

V této kapitole je popsáno několik metod spojování plechů využívaných v automobilovém průmyslu.

3.1.1 Svařování

Svařování v automobilovém průmyslu jednoznačně dominuje a to zejména ke kompletaci karoserie. Například v lince firmy Läpple, která dodává přední část karoserie vozu Mercedes CLK, firmě Daimler Chrysler je instalováno 20 robotů Kuka. Z toho jsou tři vybaveny pneumatickými svařovacími kleštěmi pro odporové bodové svařování a jeden robot je vybaven MAG svářečkou. Přední část karosérie je vyrobena ze 120 kusů plechů a je na ní provedeno zhruba 1200 bodových svarů, umístěno 39 čepů a vytvořeny svary o délce 1100 mm. A však toto odvětví zažívá velké inovace a to především v daleko větší aplikaci laserového svařování namísto bodového, výstupkového nebo MAG svařování. Lasery pracují bezdotykově, tedy nedochází k opotřebení dílů a jsou velmi flexibilní při vysoké produktivitě. Typické použití je svařování dveří, bočních stěn a vstupních prostorů, podlahových sestav, střešních spár, předních nebo zadních částí vozidla. Laserové svařování je vhodné i pro spojování pozinkovaných plechů, laser nejdříve vytvoří nopky, které zajistí definovanou mezeru mezi plechy a v druhém kroku stejné zařízení spojí plechy skenerovým svařováním [23], [24].

3.1.2 Nýtování

Dříve byly celé karoserie automobilů nýtované. V karosářském průmyslu bylo nýtování nahrazeno svařováním, které lépe splňuje ekonomické a funkční požadavky. Avšak v automobilovém průmyslu nýtování našlo své uplatnění a stalo jeho neodmyslitelnou součástí.

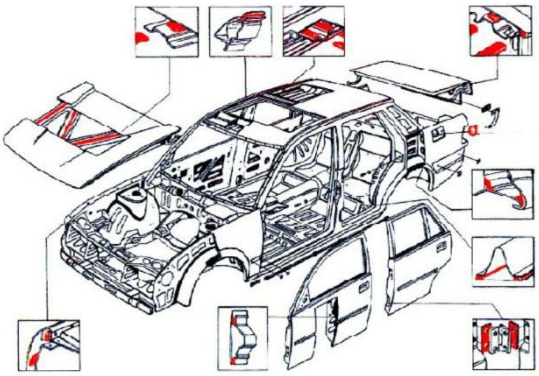
Nýtování se využívá například k výrobě dveřních zámků aut. Obal zámku tvoří plechová schránka, která je spojena pomocí plných nýtů. Tyto nýty jsou formovány pomocí technologie radiálního nýtování. Pomocí stejné technologie je vyráběna celá řada pohyblivých spojení v oblasti autosedaček, kdy jsou plechové díly spojeny plným nýtem, který zároveň slouží jako čep. Takových spojů se v autosedačce nachází několik a zajišťují možnost regulace výšky sedačky. Pro spojení horní části sedačky s ližinami zajišťující pohyb sedačky dopředu a dozadu se používají svorníkové systémy s tvarovacím prstencem, které jsou kompromisem mezi trhacím a plným nýtem.

Tyto nýty jsou instalovány pomocí moderního nýtovacího nářadí, které vyhodnocuje kvalitu nýtového spoje a dává tak jistotu, že spoj neohrozí lidské zdraví při případné autonehodě. Podobným nářadím jsou umístěny nýty, které připevňují airbagy po celém autě a je tedy zajištěna bezpečnost cestujících [14].

3.1.3 Lepení

V automobilovém průmyslu se do popředí dostává ve stále větší míře lepení, které je schopné v určitých oblastech nahradit klasické metody spojování tenkých plechů, jakými je svařování, pájení, nýtování nebo šroubování. V dnešní době je v nových autech využíváno lepení pro mnohé součástí vozu (Obr. 14), z našeho hlediska je však zásadní lepení částí karoserie [25].

Obr. 14 Příklady použití lepených spojů v autě [22]



3.2 Využití vybraných metod v průmyslu obecně

V této kapitole je popsáno několik metod spojování plechů využívaných v různých odvětvích průmyslu, ať už při výrobě dopravních prostředků nebo jiných zařízení.

3.2.1 Svařování

Výborný příklad využití svařování v praxi je technologie výroby tlakových nádob. Při této výrobě je plně využito výhod metody MAG, kdy musí být vytvořen kontinuální svar bez jakéhokoli defektu (Obr. 15), který by mohl způsobit nehodu. Musí tedy být zajištěn dobrý průvar, smáčení kovů pro dobré překrytí svaru a dobrý vzhled, a nesmí docházet k rozstřiku, aby nemuselo být prováděno následné čištění.

Obr. 15 Stroj na výrobu tlakových nádob [26]

3.2.2 Nýtování

Nýtování plnými nýty stále nachází uplatnění. Velmi rozšířená je aplikace při výrobě řetězu motorové pily. Jednotlivé články řetězu jsou spojeny pomocí nýtů, které slouží také jako čep. Každá hlava nýtu je roznýtována razníkem, který vykonává hypocykloidní smyčku a je zajištěn požadovaný tvar [13].

Nýtování pomocí klasických trhacích nýtů je hojně zastoupeno v elektronickém průmyslu ke kompletaci rozvodných skříní, výrobě boxů elektro součástek, jako je například kryt průmyslového serveru. Nebo lze využít k upevnění zemnící svorky měděným nýtem k dosažení dobré elektrické vodivosti [27].

4 ZÁVĚR

V první části práce bylo z teoretického hlediska popsáno základní rozdělení spojů a definovány tenké plechy, tak aby bylo jasné, jaké oblasti spojování se tato práce věnuje. Dále byly popsány metody svařování, nýtování, pájení a lepení z teoretického hlediska, aby mohly být vyjmenovány obecné výhody a nevýhody těchto metod. A také byly popsány jednotlivé metody. Tato část práce umožňují čtenáři získat základní rozhled v problematice spojování tenkých plechů.

V druhé části jsou vybrané metody prezentovány v současné praxi, a vytvářejí určitý obrázek o využívání jednotlivých technologií v současném průmyslu a to především automobilovém.

Jednoznačně lze říci, že do popředí se dostávají technologie, které zásadně snižují náklady na výrobu a to buď přímo (méně použitého materiálu), nebo nepřímo (rychlost výroby, spolehlivost technologie, atd.) a technologie, které pozitivně ovlivňují vlastnosti výsledné sestavy (pevnost, životnost, atd.) Jako názorný příklad lze využít vývoj karoserie automobilů. V historii byly jednotlivé díly spojovány nýty, následně je nahradila technologie bodového svařování, tato technologie je v současnosti vytlačována technologií laserového svařování a lepením, kterým lze částečně nahradit laserové svařování.

Na tomto případě je vidět neustálý pokrok, který je relativně rychlý, zejména v určitých odvětvích průmyslu. A je tedy nezbytné se neustále vzdělávat, pro uplatnění se v těchto odvětvích průmyslu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Seznam literatury

[1] KŘÍŽ, R. a VÁVRA, P. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Ilustrace Jindřich Herbrych. Praha: Scientia, 1994, 241 s. ISBN 80-858-2759-X.

[2] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2.: polotovary a jejich technologičnost. Základy obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 404 s. ISBN 5428-04-221-79.

[3] ČSN 42 5301. *Plechy tenké z oceli tříd 10 až 16 válcované za tepla: Rozměry*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1974.

[4] KŘÍŽ, Rudolf. *Stavba a provoz strojů I: části strojů*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1977, 323 s. :. Řada strojír. literatury.

[5] BROŽEK, Milan. *Strojírenská technologie: (technologické postupy)*. Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2009, 103 s. ISBN 978-80-213-1942-4.

[6] KŘÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálu*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.

[7] GRANDT, Jörg. *Blindniettechnik: Qualität und Leistungsfähigkeit moderner Blindniete*. 2. Aufl. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 2002. ISBN 34-789-3115-0.

[8] Petřínská rozhledna: Historie rozhledny. *Petřínská rozhledna* [online]. 2014 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.petrinska-rozhledna.cz/historie.php

[9] POP: The pop in POP® Rivets. STANLEY. *Stanley: Engineered Fastening* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.stanleyengineeredfastening.com/brands/pop

[10] Nýtování. *Amatérský kovář* [online]. 2007 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/nytovani.htm

[11] Orbitální nýtování. *Pramark* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.pramark.cz/nytovaci-stroje/orbitalni-nytovani/

[12] Radiální nýtování. *Pramark* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.pramark.cz/nytovaci-stroje/radialni-nytovani/

[13] Radiální bodové nýtování. FRIEDRICH GMBH & CO. *Friedrich* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.fmw-friedrich.de/cs/technologien/nieten/nietverfahren.html

[14] RIVETEC S.R.O. *RIVETEC s.r.o - nýtovací nářadí* [online]. 2009 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.rivetec.cz/

[15] [TITGEMEYER], Jörg Grandt. *Schließringbolzensysteme: Typen, Verarbeitung, Einsatzbereiche*. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 2001. ISBN 34-789-3240-8.

[16] RIVSET®: Narážecí nýty pro perfektní spojení. BÖELLHOF. *Böellhof* [online]. 2013 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.boellhoff.cz/cs/cz/spojovaci_prvky/specialni_spojovaci_prvky/nytovaci_technika/rivset.php

[17] XING, B., HE, X., WANG, Y., at al. Journal of materials processing technology: Study of mechanical properties for copper alloy H62 sheets joined byself-piercing riveting and clinching. *Journal of materials processing technology* [online]. 2015, roč. 2015, č. 2, s. 9 [cit. 2015-03-23]. DOI: 0924-0136. Dostupné z: http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.08.030

[18] TOX-Round Joint Joining System. TOX® PRESSOTECHNIK GMBH & CO.KG. *TOX® PRESSOTECHNIK* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.tox-us.com/us/products/joining-systems/tox-clinch-procedure/tox-round-joint.html

[19] MIG pájení pozinkovaných autokarosářských dílů. *Automig: internetový magazín* [online]. 2015 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://automig.cz/o-svarovani/metody/mig-pajeni-mig-brazing/

[20] Laserové pájení natvrdo. *AWL Technik* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://www.awl.nl/cz/technologies/laser_welding/brazing

[21] Pájení kovů. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://www.konstrukce.cz/clanek/pajeni-kovu/

[22] HLAVATÝ, I. a HRUBÝ, J. *Technologičnost konstrukcí*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2772-8.

[23] SVAŘOVÁNÍ PŘEDNÍCH ČÁSTÍ KAROSERIÍ AUTOMOBILŮ. KUKA ROBOTER CEE GMBH. *Kuka: ROBOTIKA A AUTOMATIZACE* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/solutions/solutions_search/L_R006_Welding_of_automotive_front_ends.htm

[24] Aplikace laseru v karosárně. TRUMPF GMBH. *Trumpf* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/reseni/reseni-v-jednotlivych-odvetvich/automobil/karoserie.html

[25] SIKA CZ, s.r.o. *Sika* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://cze.sika.com/cs/group.html

[26] *MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 2010, č. 3. ISSN 1212-2572.

[27] Electronics Rivets. *Stanley: Engeneered fastening* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: http://www.emhart.eu/eu-en/products-services/products-by-category/popriveting/poprivets/electronics-rivets.php

Seznam obrázků

Obr. 1 Princip svařování WIG [6] 8
Obr. 2 Princip svařování MIG a MAG [6] 9
Obr. 3 Princip bodového svařování [6] 10
Obr. 4 Princip švového svařování [6] 11
Obr. 5 Princip orbitálního nýtování [11] 15
Obr. 6 Princip radiálního nýtování [11] 15
Obr. 7 Trhací nýt [14] 16
Obr. 8 Maticový nýt [14] 16
Obr. 9 Ruční pneumaticko-hydraulické nářadí pro jednostranné trhací nýty [14] 17
Obr. 10 Funkční části svorníku [15] 18
Obr. 11 Ruční pneumaticko-hydraulické nářadí pro svorníkové systémy s tvarovacím prstencem [14] 19
Obr. 12 Princip metody clinching [18] 20
Obr. 13 Princip lepeného spoje [22] 24
Obr. 14 Příklady použití lepených spojů v autě [22] 27
Obr. 15 Stroj na výrobu tlakových nádob [26] 28