

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra materiálu a strojírenské technologie**

**KONVENČNÍ A NEKONVENČNÍ  
METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLU  
V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

**Vypracoval: Vojtěch Kadlec**

**© 2014 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kadlec Vojtěch

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu v automobilovém průmyslu**

Anglický název

**Conventional and unconventional methods of material bonding in automotive industry**

### Cíle práce

Shromáždit literární podklady o konvenčních a nekonvenčních metodách spojování materiálu v automobilovém průmyslu.

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Závěry a přínos práce.

### Osnova práce

1. Úvod.
2. Cíl práce a metodika.
3. Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu.
4. SWOT analýza metod spojování.
5. Závěr.
6. Seznam literatury.



## Rozsah textové části

cca 30 stran

## Klíčová slova

automobil, lepení, nýtování, pájení, svařování, šroubové spoje

## Doporučené zdroje informací

- ADAMS, R. D., COMYN, J., WAKE, W. C.: Structural adhesive joints in engineering. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1997. 376 s.
- BROCKMANN, W.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley – VCH, 2009. 414 s.
- BRANDON, D., KAPLAN, W. D.: Joining Processes: An introduction. Chichester: Wiley, 1997. 363 s.
- BROŽEK, M.: Strojírenská technologie I. Praha: ČZU v Praze, 2008. 80 s.
- DUCHÁČEK, V.: Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT Kanag – tisk, 2006. 278 s.
- DAVIES, G.: Materials for automobile bodies. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2003. 277 s.
- DUCHÁČEK, V.: Polymery výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: VŠCHT Kanag – tisk, 2006. 278 s.
- EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. Norwich: William Andrew, 2008. 363 s.
- HABENICHT, G.: Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendung. Berlin: Springer 2002. 921 s.
- HICKS, J.: Welded joint design. New York: Industrial Press, 1999. 141 s.
- LANCASTER, J. F.: Metallurgy of welding. Cambridge: Abington Publishing, 2001. 446 s.
- LOCTITE: Der Loctite. Worldwide Design Handbook. München: Loctite European Group, 1998. 452 s.
- MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004. 790 s.

Časopis: International Journal of Adhesion & Adhesives, Journal of Materials Processing Technology, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Zváranie – svařování, Welding and Metal Fabrication, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, The journal of adhesion, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology, Technical Gazette, Strojárstvo, Journal of lasers applications, Journal of Materials Processing Technology.

## Vedoucí práce

Müller Miroslav, doc. Ing., Ph.D.

## Termín zadání

listopad 2012

## Termín odevzdání

duben 2014

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 18.3.2013

### Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci „Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu v automobilovém průmyslu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Müllera, Ph.D. a použil jen literaturu, literární prameny a publikace citované v příloženém seznamu literatury.

V Praze dne .....

Podpis .....

## Poděkování

Děkuji panu doc. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce.

**Abstrakt:**

Úkolem této bakalářské práce bylo popsat konvenční a nekonvenční metody spojování materiálů v automobilovém průmyslu a vytvořit SWOT analýzu.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. V první části „Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálů“ jsou uvedeny základní metody spojování (lepení, svařování, pájení, nýtování, šroubové spoje) a je u nich popsána základní charakteristika, druhy metod, způsoby použití. Ve druhé části „SWOT analýza metod spojování“ jsou metody hodnoceny SWOT analýzou v podobě matice. V závěru je shrnut celkový pohled na problematiku spojování materiálů a shrnuty poznatky vyplývající z této práce.

**Klíčová slova:** automobil, lepení, nýtování, svařování, šroubové spoje, clinching

**Abstract:**

The task of this thesis was to describe conventional and unconventional methods of bonding materials in the automotive industry and create a SWOT analysis.

The work is split into two main parts. In the first part “Conventional and unconventional methods of bonding materials” describes the basic methods of joining (adhesive bonding, welding, soldering, riveting, bolting,) which are described by basic characterization, types of methods, field of use. In the second part “SWOT analysis of bonding methods” methods are presented in the form of a SWOT analysis matrix. At the end there is summed overall view of bonding materials and summary of the findings arising from this work.

**Keywords:** automobile, adhesive bonding, soldering, welding, bolting, clinching

## Obsah

1	<b>ÚVOD</b> .....	1
2	<b>CÍL PRÁCE A METODIKA</b> .....	2
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika.....	2
3	<b>KONVENČNÍ A NEKONVENČNÍ METODY SPOJOVÁNÍ MATERIÁLU</b> ....	3
3.1	Lepení.....	3
3.1.1	Základy teorie technologie lepení.....	4
3.1.2	Rozdělení lepidel.....	5
3.1.3	Technologické zásady pro lepené spoje.....	5
3.1.4	Konstrukční směrnice a technologičnost konstrukce lepených spojů.....	6
3.2	Svařování.....	10
3.2.1	Způsoby svařování.....	10
3.2.2	Laserové svařování.....	11
3.2.3	Odporové svařování.....	13
3.2.4	TIG (WIG) svařování.....	16
3.2.5	MIG/MAG svařování.....	16
3.2.6	Plazmové svařování.....	18
3.3	Spojení nýtováním a prolisováním.....	18
3.3.1	Nýtové spoje.....	18
3.3.2	Spojení prolisováním - clinching.....	21
3.4	Pájení.....	24
3.4.1	Pájky a tavidla.....	24
3.4.2	Rozdělení pájení.....	25
3.4.3	MIG pájení.....	25
3.4.4	Laserové pájení.....	26
3.5	Šroubové spoje.....	27

3.5.1	Druhy spojovacích šroubů .....	27
3.5.2	Zajištění šroubových spojů .....	28
4	<b>SWOT ANALÝZA METOD SPOJOVÁNÍ</b> .....	30
4.1	Lepení .....	30
4.2	Svařování .....	31
4.2.1	Laserové svařování .....	31
4.2.2	Odporové svařování .....	32
4.2.3	TIG/WIG svařování .....	32
4.2.4	MIG/MAG svařování .....	33
4.2.5	Svařování plazmou .....	33
4.3	Nýtování .....	34
4.4	Pájení .....	34
4.5	Šroubové spoje .....	35
5	<b>ZÁVĚR</b> .....	36
6	<b>SEZNAM LITERATURY</b> .....	37
	Seznam obrázků: .....	40
	Seznam tabulek: .....	41



## 1 Úvod

Bakalářská práce „Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu v automobilovém průmyslu“ se zabývá vybranými způsoby spojování materiálu, na které jsou nejen v automobilovém, ale i ostatních oblastech průmyslu kladeny stále větší nároky na nové technologie, rozvoj a modernizaci stávajících technologií a v neposlední řadě ekonomičnost výroby a šetrnost k životnímu prostředí. Se stále se zvyšujícím počtem vyráběných automobilů je kladen čím dál tím více důraz na robotizaci a automatizaci co největšího rozsahu prací, a tím i zajištění vysoké produktivity a kvality práce. Proces výroby se neobejde bez nutnosti spojovat různorodé materiály, které ve výsledku mají za úkol např. snížit hmotnost karoserie, spotřebu paliva, emise a zvýšit bezpečnost cestujících.

Spoje můžeme rozdělit do dvou nejzákladnějších skupin: rozebíratelné a nerozebíratelné. Rozebíratelná jsou taková spojení, u nichž lze demontáž provést bez porušení definovatelnými silami a montážními pohyby nebo odstraněním spojovacího členu. Takové spoje jsou např. šroubové, kolíkové či spoj pomocí pera. Naopak mezi metody vytvářející nerozebíratelné spojení patří svařování, pájení, lepení a mechanické spojování. U těchto spojů je demontáž možná pouze s porušením základních součástí nebo spojovacího materiálu.

V automobilovém průmyslu patří k nejvíce používaným metodám spojování odporové svařování, především bodové, které je energeticky, ekologicky a ekonomicky náročnější než např. různé metody spojení prolisováním (např. flat-clinching), které však mají potenciál je do budoucna čím dál tím více nahrazovat. Stejně tak laserové svařování a lepení, která se v dnešní době již relativně často používají, mají velký potenciál rozvoje do budoucna, kde objem prací provedený těmito technologiemi jen poroste.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Tato práce si klade za cíl v první části seznámit čtenáře s vybranými metodami konvenčního a nekonvenčního spojování materiálu v automobilovém průmyslu a charakterizovat je. Ve druhé části práce bude provedena analýza vybraných metod spojování pomocí SWOT matice.

### **2.2 Metodika**

Práce spočívá ve shromáždění informací publikovaných v dostupných literárních a ostatních zdrojích týkajících se dané problematiky, jejich prostudování a rozbor. Po prostudování těchto zdrojů následuje zpracování poznatků z nich získaných formou literární rešerše do finální podoby.

### **3 Konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu**

V této kapitole se zaměříme na konvenční a nekonvenční metody spojování materiálu v automobilovém průmyslu a jejich základní charakteristiku.

Spoje můžeme rozdělit podle principu působení a podle rozebíratelnosti. V podstatě existují tři možnosti, jak spojit dvě a více součástí:

- Tvarovým stykem
- Silovým stykem
- Materiálovým stykem

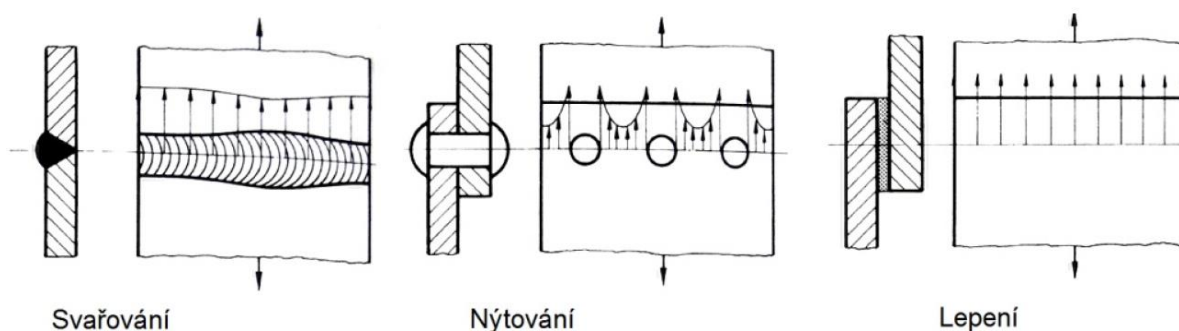
#### **3.1 Lepení**

Lepení je všeobecně považováno za moderní technologii, i když tomu tak není a ve skutečnosti je velmi staré. Jeho příklady můžeme nalézt již v době kamenné, kdy pračlověk pravděpodobně náhodou objevil lepivost některých látek. První lepidla byla vyrobena z přírodních zdrojů, převážně z pryskyřice. Lepidla jsou známa asi 6000 let, ale většina technologií pro jejich výrobu byla vyvinuta během posledních 100 let. K největšímu rozmachu použití a vývoje došlo v době po druhé světové válce.

V dnešní době se lepení stalo jednou ze základních technologií spojování materiálů všeho druhu téměř ve všech odvětvích průmyslu. Používá se ke spojování kovů, plastů i kombinovaných systémů materiálů. Při aplikaci lepidel není narušena celistvost spojovaných dílů. Lepidla umožňují vytvářet spoje vodotěsné a plynotěsné, spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, lepený spoj rovněž tlumí vibrace a prakticky nezvyšuje hmotnost souboru dílů.

V automobilovém průmyslu se lepení využívá například pro upevnění prvků interiéru, oken, brzdových obložení nebo odhlučňujících prvků karosérií. Lepící tmely se také používají k těsnění bodových svarů karosérií. Lepené spoje mohou dosahovat pevnosti srovnatelné se spoji svařovanými a nýtovanými, které však vykazují lepší rozložení napětí, viz obr. (Obr. 1).  
[5,11,12]

Obr. 1 Porovnání rozložení napětí u svařovaných, nýťovaných a lepených spojů [7]



### 3.1.1 Základy teorie technologie lepení

Pevnost lepeného spoje je vyjadřována komplexními vlastnostmi všech činitelů, které se na lepeném spoji podílejí. Lepidlo je v okamžiku lepení v kapalném stavu, protože jedině tak je schopné zajistit dokonalé přilnutí k povrchům lepeného materiálu. Podmínkou vytvoření kvalitního spoje s kladnými vlastnostmi je především jeho vhodná konstrukce, dodržení technologického postupu výroby lepeného spoje a vhodná kombinace materiálu a použitého lepidla. Pevnost spoje je především ovlivňována těmito čtyřmi parametry:

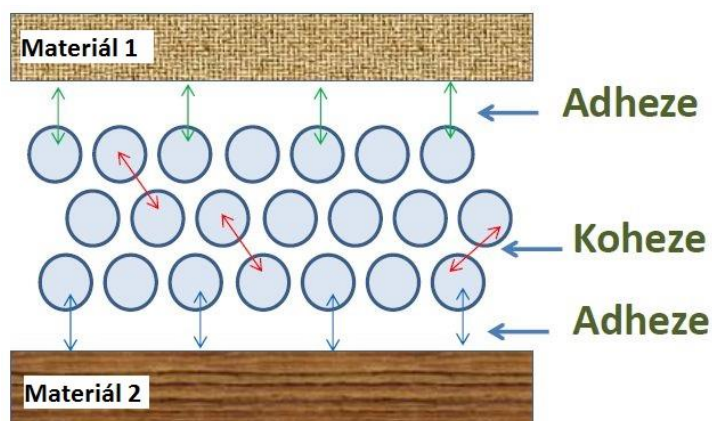
**Adheze** – přilnavost lepidla na lepený materiál

**Koheze** – vnitřní pevnost lepidla, soubor sil, kterými jsou vázány částice samotného lepidla (Obr. 2)

**Smáčivost** povrchu materiálu lepidlem

**Pevnost** lepeného materiálu [13, 11]

Obr. 2 Adheze a koheze. [32]



### 3.1.2 Rozdělení lepidel

Lepidla se dají rozdělovat podle různých hledisek. Například podle chemického složení na přírodní a syntetická. Syntetická lepidla dále rozlišujeme na lepidla na bázi reaktoplastů, elastomerová (kaučukovitá), termoplastická a směsná. Přírodní dělíme na anorganická a organická. Tekutá lepidla je možné rozdělit na pěny, roztočová, disperzní a pasty.

Dalším důležitým rozdělením lepidel je rozdělení podle počtu složek. Jednosložková lepidla jsou technologicky velmi výhodná, požívají se v podobě roztoku, pasty, prášku, tyčinky nebo lepící folie. Dvousložková a vícesložková jsou nejrozšířenější skupinou lepidel. [3,11]

Lepidla můžeme dělit podle teploty vytvrzovací reakce na:

- Studená – vytvrzují při teplotě do 20°C
- Teplá – vytvrzují v teplotním rozsahu 21 až 144°C
- Horká – vytvrzují nad teplotou 145°C

Dále podle tlaku při vytvrzovací reakci na lepidla:

- Beztlaková – vytvrzují do přetlaku 0,3 MPa
- Tlaková – vytvrzují při tlaku vyšším než 0,3 MPa [2]

### 3.1.3 Technologické zásady pro lepené spoje

K tomu, aby měl lepený spoj optimální vlastnosti, je třeba dodržet následující zásady:

- Navrhnout spoj tak, aby nebyl namáhán odlupováním.
- Dobře prostudovat návod na použití dodaný výrobcem a zjistit si informace o technice lepení.
- U vícesložkových lepidel se musí přesně dodržet daný směšovací poměr a pořadí vmíchávání jednotlivých složek. Větší než předepsanou dávkou tvrdidla se pevnost nezlepší, ale naopak zhorší.
- Lepidla se musí mísit v množství a za podmínek předepsaných výrobcem. Obojí ovlivňuje dobu životnosti směsi po smíchání.

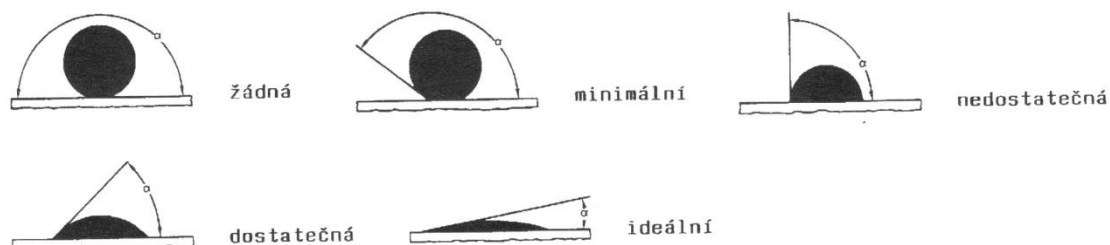
- Parametry vytvrzování je nutné dodržet, zejména teplotu, tlak a dobu.
- Pečlivé připravení ploch určených k lepení, závisí na tom až 90% pevnosti spoje. [3]

### 3.1.4 Konstrukční směrnice a technologičnost konstrukce lepených spojů

Pevnost lepeného spoje ovlivňuje:

- *Tloušťka vrstvy lepidla.* Správnou tloušťku lze dosáhnout vkládáním drátků mezi spojované plochy či plnidly se zrny průměru požadované tloušťky. Se zvětšující tloušťkou se zhoršují pevnostní parametry spoje jako pevnost v tahu a smyku.
- *Vlastnosti zvoleného lepidla.* Kromě dobré adheze k materiálu je také velice důležitá kohezní pevnost a pružnost, součinitel tepelné roztažnosti, závislost poklesu pevnosti na teplotě, hodnota smršťování a odolnost proti vodě.
- *Povrchová úprava adherendů.* Ta má za úkol zajistit maximální smáčivost povrchů (Obr. 3) lepidlem a vytvoření adhezních vazeb. Může se provádět mechanickou úpravou povrchů, jako je např. frézování, smirkování, pískování nebo se provádí chemická úprava povrchu, při které se plochy odmašťují organickými rozpouštědly nebo alkalickými odmašťovacími a kyselinami. [3]

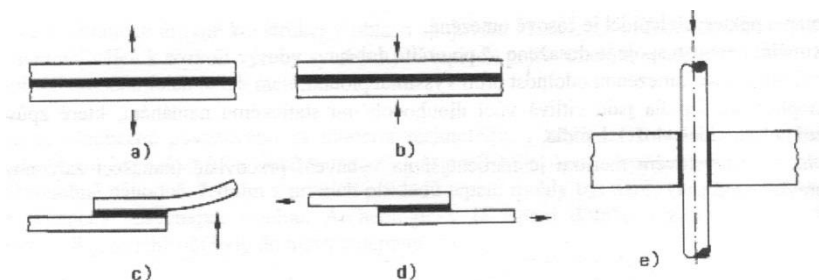
Obr. 3 Smáčivost lepených povrchů [5]



- *Fyzikálně-mechanické vlastnosti lepených materiálů.* Můžeme říct, že materiály vyšších pevností mohou dosahovat vyšších absolutních pevností spoje. Pokud se lepí materiály s různými moduly pružnosti a součiniteli tepelné roztažnosti, je nutné volit lepidla, která tyto rozdíly snižují.
- *Způsob namáhání.* Pro dosažení dobrých výsledků v technice lepení by měly na spoje působit jen stříhové a tlakové síly. Na obrázku (Obr. 4) jsou vidět základní druhy

zatížení lepených spojů. Velice nevhodné jsou síly namáhající spoj loupáním a je nutné jim vhodným konstrukčním opatřením zabránit.

Obr. 4 Základní druhy zatížení lepených spojů [5]



a) tah, b) tlak, c) odlupování, d) smyk tahem, e) smyk tlakem

- *Konstrukční tvar spoje a geometrické parametry.* Řeší vzájemnou polohu lepených částí tak, aby byla získána ideální styková plocha a tím i pevnost spoje. Způsoby řešení mohou být např. záměnou tupého spoje za šikmý, celkovou orientací spojovaných součástí proti směru namáhání nebo příložkami, které působí i svojí mechanickou pevností. [3]

### 3.1.5 Lepené spoje v automobilovém průmyslu

Lepené konstrukční spoje se v automobilovém průmyslu objevují v řadě typů jak z hlediska funkčního namáhání, tak i z hlediska konstrukčního. Je možné říct, že lepení zastává funkci doplňkovou a těsnící (lepení a tmelení za účelem těsnění, antikorozi ochrany, tlumení chvění, aplikace výztuh) nebo může celkově zastoupit technologii svařování v konstrukčních pevnostních spojích. [11]

Tenké plechy se v současnosti nejčastěji spojují technologií odporového svařování. Tato technologie sebou nese několik nevýhod. Jelikož povrchy plechů se často pro zvýšení odolnosti proti korozi opatřují povlaky na bázi zinku, který poté ulpívá na elektrodách a v místech svaru vzniká problém se zachováním ochranné funkce povlaku. Další nevýhodou je problematické spojování plechů různých tloušťek a jakostí nebo tepelné ovlivnění svařované oblasti. Použitím technologie lepení je možné se těmito problémům vyhnout a využít řadu výhod, které tato technologie v oblasti automobilového průmyslu nabízí:

- Vyšší pevnost a tuhost karoserie,
- zachování ochranné vrstvy zinku,

- umožnění nového montážního postupu,
- vrstva lepidla slouží jako elektroizolant,
- spoje jsou těsné – není třeba dodatečně utěšňovat,
- ochrana proti korozi a tlumení spojovací vrstvou,
- podstatné snížení hlučnosti v karoserii,
- vysoká kvalita vzhledu spojovaných součástí.

Plechý dodávané automobilce z hutí bývají chráněny tenkou vrstvou konzervačního maziva. Z důvodu produktivity výroby není vhodné před aplikací lepidla při stavbě karoserie plech nijak zvlášť odmašťovat nebo jinak povrchově upravovat a ani se tak nečiní. Proto se okruh použitelných lepidel zužuje na lepidla, která jsou vůči mazivům málo citlivá a zajišťují dostatečnou adhezi i pevnost spoje navzdory povrchové vrstvě maziva. [11]

Charakter a složení lepidel používaných pro stavbu karoserií jsou spjaty s požadovanou funkcí spoje. Takto lze lepidla rozdělit podle účelu na těsnící, výztuhová a pevnostní. Báze lepidel a charakter lepeného spoje pro jednotlivé aplikace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1).

*Tab. 1 Báze lepidel, charakter lepeného spoje, aplikace [11]*

Druh lepeného spoje	Příklady	Používaná lepidla	Požadované vlastnosti lepeného spoje
drážkové přírubové lepení	kapota	např. epoxidové pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu, ochrana před šěrbinovou korozi
výztuhové lepení	dveře, kapota	např. polyuretany, PVC, synt. kaučuky	neohebnost torze, nesmí se deformovat vzhledový díl
lepení nosné struktury	sloupky, profily, přírubové švy	epoxidová pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu
těsné lepení	hrdlo nádrže, utěsnění švu	např. syntetické kaučuky, PVC	těsnost, odolnost vůči korozi
přímé zasklívání	přední, zadní a pevné boční tabule	např. polyuretany	tuhost karoserie, těsnost nepropustnost

Technologie lepení nachází při hrubé stavbě karoserie stále širší uplatnění vzhledem k nižší energetické náročnosti v porovnání se svařováním. Požadavek na snižování hmotnosti karoserie (vede k úsporám pohonných hmot) je též faktorem pro zvyšování podílu lepených spojů ve stavbě karoserií automobilů. [11]



### 3.1.6 Přehled použití lepidel ve stavbě karoserie

Příklady aplikací lepidel a tmelů za účelem těsnění (Obr. 5):

- těsnění lemů a dalších dílů karoserie (hrdla palivové nádrže, blatníků, těsnění spoje kolem krytu zadního kola a postranic atd.)
- těsnění oken
- zvuková izolace dveří

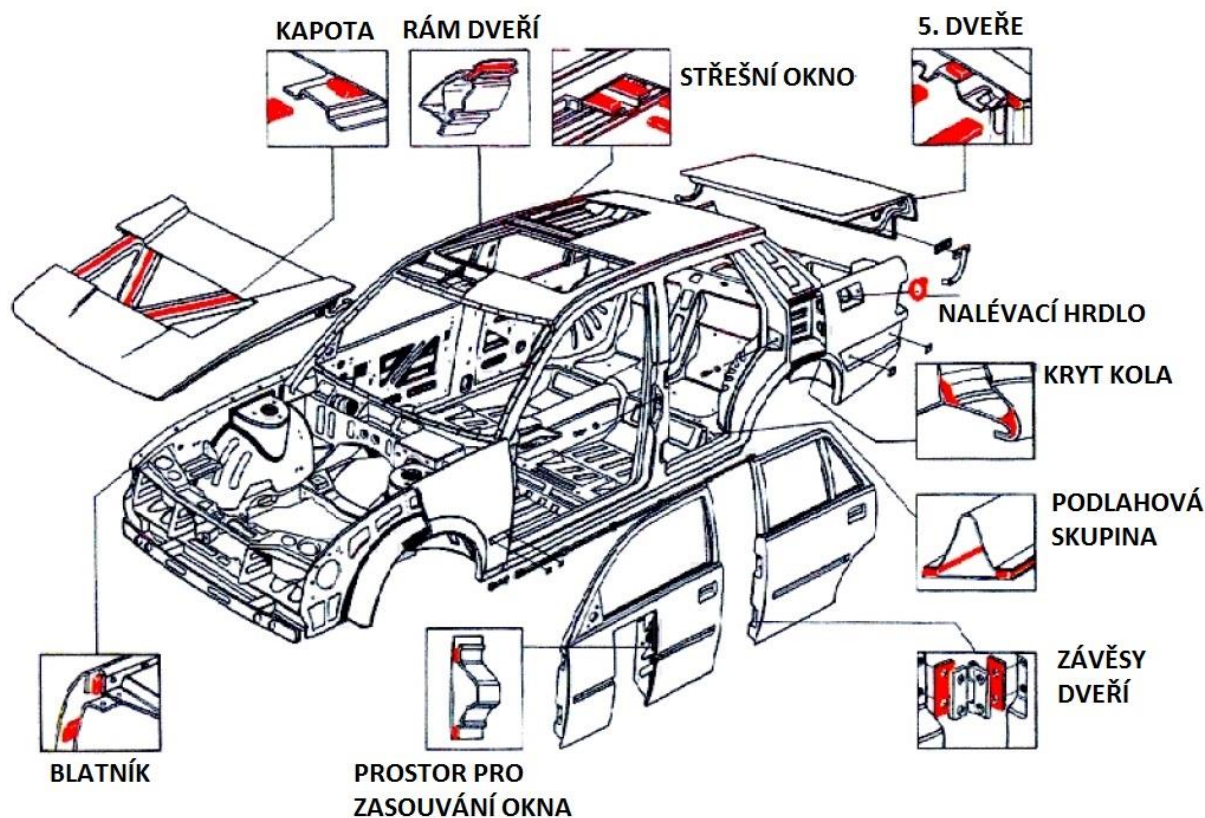
Nízkopevnostní lepené spoje:

- spoj hrdla palivové nádrže se zadní postranicí a rámem dveří
- lepení střechy a jejích výztuh
- lepení výztuh povrchových plechů (kapota, dveře, atd.)

Pevnostní lepené spoje:

- lemy dveří
- lemy kapoty

Obr. 5 Použití lepidel ve stavbě karoserie [11]



## 3.2 Svařování

Svařování v automobilovém průmyslu tvoří v dnešní době rozsáhlou oblast národního hospodářství a bylo první technologií, která byla robotizována. Se začátkem sériové výroby samonosných karoserií se začaly rozvíjet málo používané, případně úplně nové technologie svařování. [10]

Díky robotizaci a automatizaci se podařilo dosáhnout téměř konstantní vysoké kvality svárů, která je zajištěna téměř dokonalým opakováním naprogramovaných pohybů - přesným podáváním přídavného materiálu do místa sváru, přesně dávkovaným množstvím ochranného plynu a správnou regulací i ostatních svařovacích parametrů. Při ručním svařování je výsledek více než z 80% podmíněn vlastnostmi svářeče, což v důsledku znamená, že každý svár je originál a jejich kvalita se může výrazně lišit, protože člověk podléhá během pracovní směny různým náladám, zvyšující se únavě, tělesným potřebám a mění se jeho fyzické dispozice. [10]

### 3.2.1 Způsoby svařování

Svařovací metody se dělí na dvě základní skupiny:

- Svařování tavné
- Svařování s použitím tlaku

Podstatou tavného svařování je lázeň roztaveného kovu, která je tvořena základním materiálem a přídavným materiálem pokud je použit. Tavné svařování zahrnuje technologie vytvářející metalurgické spojení.

Svařování s použitím tlaku zahrnuje metody odporového svařování, difuzního svařování, svařování třením, výbuchem a svařování ultrapulzní.

V závislosti na stupni mechanizace můžeme svařování rozdělit na:

- Ruční – svařovací nástroj je veden ručně i ostatní úkony se provádějí ručně.
- Mechanizované – svařovací nástroj je veden ručně, ostatní pracovní úkony jako např. podávání přídavného materiálu provádí stroj.
- Částečně automatizované – svářeč provádí svařovací proces, popř. jeho korekci, svařovací nástroj a svařovaný materiál se pohybují automaticky.
- Automatické – obsluha spustí svařovací proces a vše ostatní pobíhá automaticky.[1]

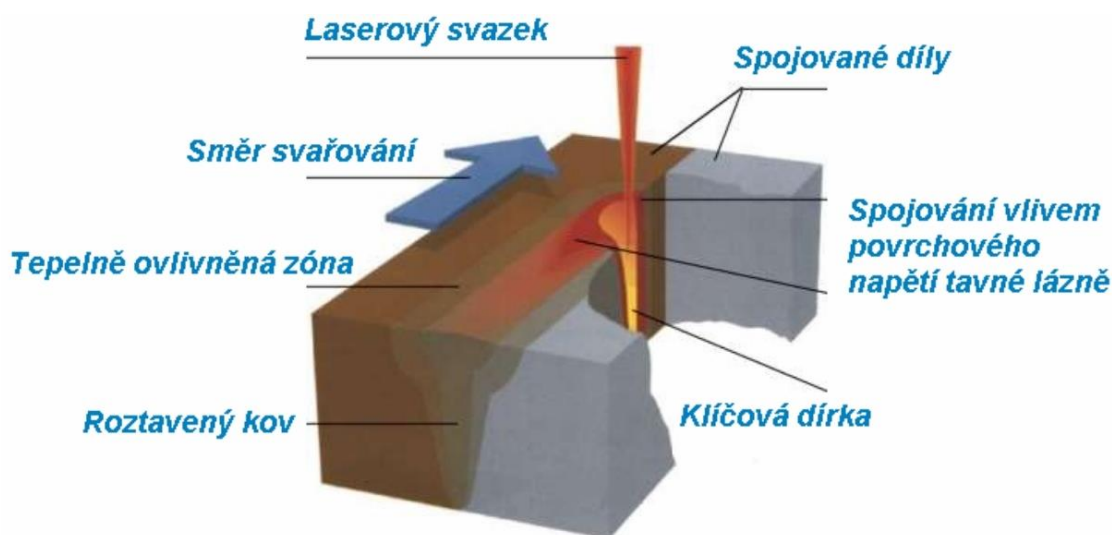
### 3.2.2 Laserové svařování

Laserové svařování je relativně nová metoda. Je nejvíce rozšířené v automobilovém průmyslu, avšak růst jeho aplikací v jiných odvětvích průmyslu je také výrazný, např. u výroby svařenců drážní techniky, výroby chirurgických nástrojů a medicínských komponent, případně elektronických prvků. [28]

#### 3.2.2.1 Princip

Zdrojem energie je laserový paprsek, který se pomocí vhodných optických elementů zaostří (fokusuje) do velmi malé oblasti (řádově desítky mikrometru). V ohnisku je dosaženo vysoké koncentrace výkonu až  $10^{12} \text{ W.cm}^{-2}$ , dochází k rychlému ohřevu materiálu v dané oblasti, až dosáhne teploty varu daného materiálu. Je nutné vhodně zkombinovat výkon laseru a svařovací rychlost, aby došlo k efektu tzv. „klíčové dírky“ (key hole) viz (Obr. 6). „Klíčová dírka“ je kapilára naplněná ionizovanými kovovými výparů o vysoké teplotě, její stěny jsou tvořeny tenkou vrstvou taveniny, která při pohybu laserového paprsku uzavírá svarovou lázeň. Za klíčovou dírkou tavenina krystalizuje a vzniká svar. Díky tomuto efektu klíčové dírky je laserový paprsek schopen vytvářet svary s dobrým poměrem šířky a hloubky, který se pohybuje od 0,1 do 0,5. [25, 28]

Obr. 6 Princip laserového svařování [26]



#### 3.2.2.2 Charakteristika

Laserové svařování se charakterizuje především malou tepelně ovlivněnou oblastí a minimální deformací spojovaných dílů, velkou svařovací rychlostí běžně dosahující 10m/min a vysokým stupněm robotizace a automatizace. Svary jsou malé s hezkou kresbou povrchu a s hloubkou průvaru až do 25mm.

Velkou nevýhodou laserových svařovacích systémů je jejich vysoká pořizovací cena, která se pro nejčastější robotické aplikace pohybuje od 5mil Kč výše, to tuto technologii z ekonomického hlediska předurčuje pro sériovou výrobu. Svařování laserem je také velice náročné na přesné sestavení svařovaných dílců s mezerou do 0,1 mm. Přídavný materiál se nepoužívá. [25, 26, 27]

### **3.2.2.3 Plynové CO<sub>2</sub> lasery**

Tyto lasery pracují na vlnové délce 10,6 $\mu$ m a zahrnují široké rozpětí výkonů, řádově až do 45kW. Běžné výkony se pohybují v rozmezí 6-8kW. Existují tři základní konstrukční typy: SLAB lasery s deskovým aktivním prouděním, s příčným prouděním aktivního prostředí a s rychlým axiálním prouděním. Principem laseru CO<sub>2</sub> je zesílení světelného paprsku při mnohonásobném průchodu aktivním prostředím mezi odrazovými zrcadly. Aktivní prostředí je tvořeno u všech typů směsí plynů CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> a He. Vzhledem k plynné formě aktivního prostředí je možnost jeho nepřetržité obměny a lze dosáhnout velkých výkonů i při nízké účinnosti CO<sub>2</sub> laserů, která je cca 10%. Zdroj CO<sub>2</sub> laseru musí být dobře chlazen. Přenos svazku vzhledem k jeho vlnové délce nelze realizovat pomocí optického vlákna, díky tomu mají CO<sub>2</sub> lasery pevné ustavení celého optického systému, poloha optiky je pevně svázána se zdrojem laserového záření. Z toho důvodu nejsou optimální pro robotické aplikace. [25,26,27]

### **3.2.2.4 Pevnolátkové Nd-YAG lasery**

Pevnolátkové Nd-YAG lasery mají v současnosti několik generací: první generace je buzena výbojkami a je relativně dražší na provoz díky nutnosti časté výměny výbojek, její pořizovací náklady nejsou ale tak vysoké jako u další generace, která místo výbojek používá polovodičové laserové diody, což umožňuje zvýšení energetické účinnosti zdrojů a kvality svazků a v důsledku tedy i nižší provozní náklady. Pevnolátkové lasery pracují na bázi ozařování krystalu vzácných zemin budícími diodami, díky tomuto ozařování vzniká v soustavě zrcadlové dráhy koherentní laserové záření. Energetický svazek produkovaný YAG lasery, který má vlnovou délku 1,064 $\mu$ m lze transportovat pomocí optického vlákna až na vzdálenost 100m, což má velice pozitivní přínos pro možnosti robotizace. [25, 26, 27]

### **3.2.2.5 Polovodičové lasery**

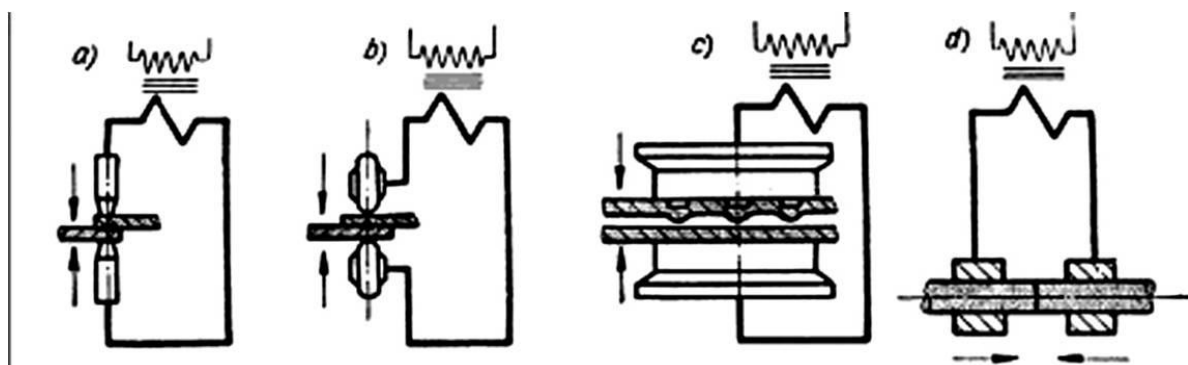
Polovodičové lasery jsou buzeny diodami a ke vzniku záření o vlnové délce 1,06 $\mu$ m dochází ve speciálním vláknu. Účinnost těchto laserů je několikrát vyšší než CO<sub>2</sub> laserů, ale velmi špatná kvalita svazku, která neumožňuje dosahovat vysokých hustot energie, předurčuje

polovodičové lasery ke zpracování materiálů s nízkou teplotou tavení a tam, kde není potřeba hlubokého průvaru. [25, 26, 27]

### 3.2.3 Odporové svařování

Odporové svařování je způsob, při kterém se kovy spojují bez přídavného materiálu. Svarový spoj vzniká roztavením základních materiálů odporovým teplem vyvinutým při průchodu svařovacího proudu a působením tlaku. Výhodou odporového svařování je velmi krátký čas svařování, jeho automatizace a vysoká produktivita. Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu rozdělujeme odporové svařování na čtyři hlavní druhy viz (Obr. 7). [5,25,29]

Obr. 7 Rozdělení metod odporového svařování [25]



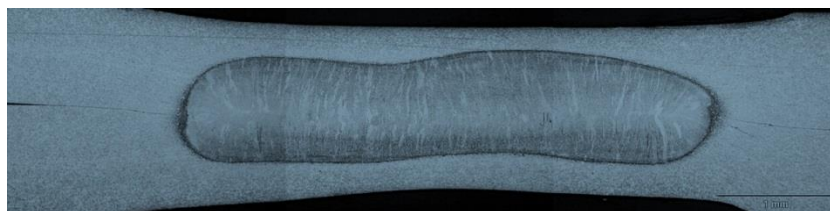
- a) bodové svařování      b) švové svařování  
c) výstupkové svařování      d) stykové svařování

- Bodové – spoje se vytváří v podobě svarových čóček mezi přeplátovanými dílci. Tento druh odporového svařování se používá v automobilovém průmyslu nejvíce, proto mu bude věnována samostatná kapitola.
- Švové – spoj se vytváří kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého svaru mezi přeplátovanými dílci.
- Výstupkové – spoje se vytváří na místech styku přirozených nebo záměrně vytvořených výstupků.
- Stykové – svařované části jsou přitlačovány ve styčných plochách a svařují se v celé styčné ploše.

### 3.2.3.1 Bodové svařování

Bodové svařování se běžně využívá na spojování dílců z tenkého plechu do tloušťky cca 3mm, lze ale bodově svařovat i větší tloušťky. Při tomto způsobu se svařované dílce přeplátují a jsou stlačeny elektrodami, které jsou upevněny na přitlačná ramena a jsou napájené ze zdroje svařovacího proudu, kterým je většinou výkonný transformátor. U vysoce výkonných svařovacích strojů je sekundární vinutí, které často tvoří jen jeden závit silného měděného vodiče chlazeného vodou. Chlazeny bývají i ramena s elektrodami. Po průchodu svařovacího proudu se odporovým teplem roztaví určitý objem materiálu a po vypnutí proudu materiál ztuhne a vytvoří svar, tzv. čochku viz (Obr. 8) [25]

Obr. 8 Bodový svařový spoj [25]



Svařovací parametry jsou veličiny, které přímo ovlivňují vytvoření svařového spoje. Odporové teplo  $Q$ , které je potřebné k natavení materiálu na svařovací teplotu se získává z průchodu vysokého proudu  $I$  (100 000A) a relativně nízkého napětí  $U$  (5-15V) za svařovací čas  $t$  a celkovým odporem svařového spoje. Množství vzniklého tepla při svařování lze vypočítat ze vztahu [1,5]

$$Q=R \cdot I^2 \cdot t \text{ [J]}$$

$Q$  – množství vzniklého tepla [J]       $I$  – svařovací proud [A]

$R$  – celkový odpor svařového spoje [ $\Omega$ ]       $t$  - svařovací čas [s]

Za předpokladu konstantní hodnoty  $R$  ze vztahu vyplývá, že potřebné množství tepla nutného k zhotovení svaru je možné dostat při:

- nízkém proudu a dlouhém svařovacím času – tzv. měkký svařovací režim,
- vysokém proudu a krátkém svařovacím času – tzv. tvrdý svařovací režim.

Měkký svařovací režim velmi tepelně namáhá svařovací elektrody a snižuje jejich životnost. Zanechává ve svařovaných materiálech hluboké otisky. Svary mají horší

mechanické vlastnosti díky malému průměru čočky, její velké výšce a hrubozrnné struktuře. Také dochází k výrazně většímu tepelnému ovlivnění materiálu. V neposlední řadě je spotřeba elektrické energie vyšší díky nižší účinnosti a větší tepelné ztrátě při procesu.

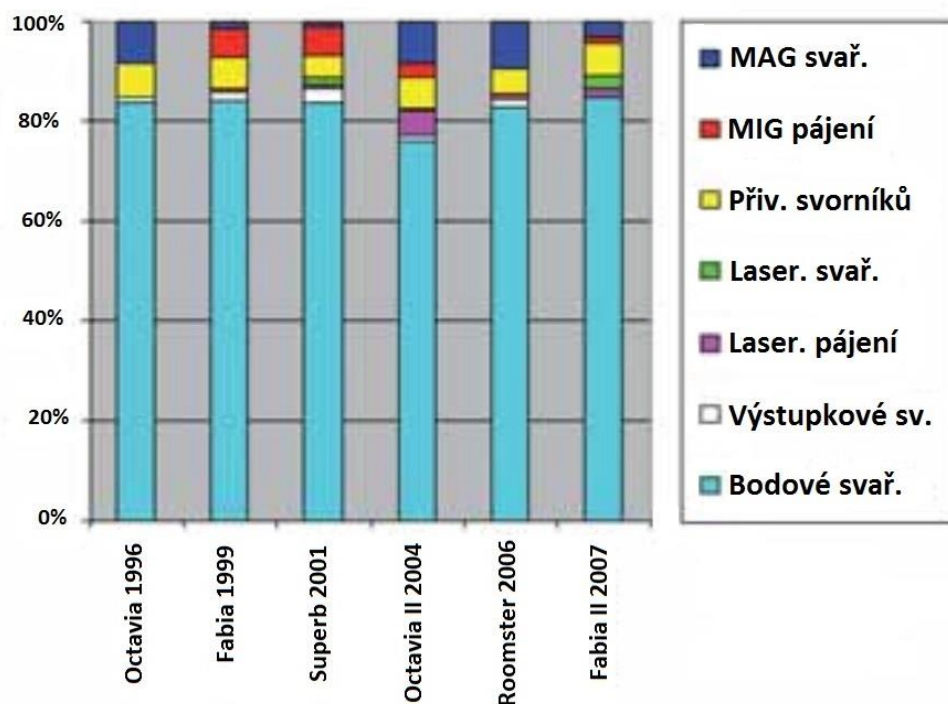
Tvrký svařovací režim má svarovou čočku většího průměru, menší výšky a jemnozrnné struktury. Mechanické vlastnosti spoje jsou o 100 až 120% lepší než u měkkého režimu a díky tomu je možné snížit jejich počet o 50 až 60%. Tím dochází ke snížení pracnosti a svařování je produktivnější. U provedení spoje v tvrdém svařovacím režimu však svařovací stroje musí mít větší příkony a používat větší přitlačné síly jak je uvedeno v tabulce (Tab. 1). V praxi se nejvíce používá technologie tvrdých svařovacích režimů. [5]

Tab. 2 Parametry odporového bodového sváření [5]

parametry	měkký režim	tvrdý režim
svařovací tlak [MPa]	<60	>80
svařovací proud [A.mm <sup>-2</sup> ]	<150	>200
svařovací čas [s]	10 <sup>-1</sup> – 10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-1</sup>

Je to nepoužívanější technologie spojování v automobilovém průmyslu viz (Obr. 9). [5,25]

Obr. 9 Relativní podíl svařovacích technologií při výrobě vozů Škoda [30]



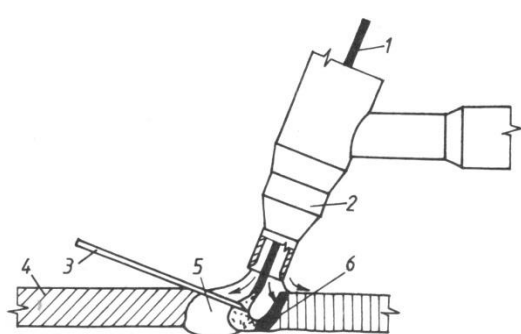
### 3.2.4 TIG (WIG) svařování

V první řadě je třeba objasnit význam zkratek TIG/WIG. Zkratka TIG pochází z angličtiny a znamená Tungsten Inert Gas a označuje svařování wolframovou (tungsten) elektrodou v ochranné atmosféře inertního (inert) plynu (gas). Tungsten je anglicky wolfram. Zkratka WIG pochází z němčiny a znamená Wolfram Inert Gas, TIG = WIG. [22]

#### 3.2.4.1 Charakteristika TIG (WIG) svařování

Při této metodě hoří elektrický oblouk mezi základním materiálem a netavící se elektrodou vyrobenou z wolframu, který odolává vysokým teplotám. Elektroda je upnuta v hlavici TIG hořáku (Obr. 10) a je do ní přenášén elektrický proud. Hořák je také opatřen hubicí přivádějící inertní plyn tvořící ochrannou atmosféru, většinou argonovou, která chrání tavnou lázeň před vstupem vzduchu a usnadňuje zapalování oblouku. [22]

Obr. 10 Princip TIG svařování [1]



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

Svařování se může provádět pouze roztavením základních materiálů a jejich slitím dohromady, nebo se přidává přídavný materiál v podobě tyčinek (drátů) podobného složení jako je základní materiál. Díky vysoké teplotě oblouku je možné svařovat vysokolegované oceli a zároveň zůstává teplotní pole velmi úzké a nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu v tak široké oblasti okolo svaru a je možno dosáhnout velké hloubky závaru. Svary jsou kvalitní s pěknou kresbou.[22,25]

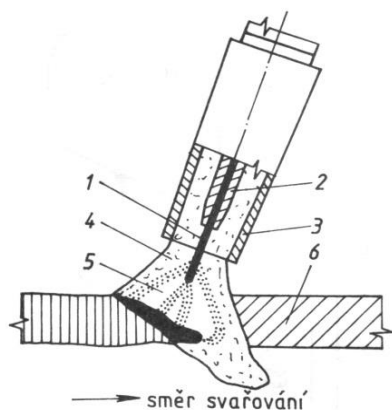
### 3.2.5 MIG/MAG svařování

Elektrický oblouk hoří mezi drátem, plynule podávaným do svaru, a svařovaným materiálem v ochranné atmosféře, takže elektroda je zároveň i přídavným materiálem (Obr. 11). Velké svařovací rychlosti a hlubokého závaru je dosaženo vysokou proudovou hustotou, která je také příčinou rychlého odtavování přídavného materiálu. Teplota oblouku je



12 000 až 15 000 °C. Metoda může být částečně nebo zcela mechanizována. Elektroda je většinou připojena na kladný pól zdroje, čímž se zvýší stabilita oblouku a sníží rozstřík kovu.

Obr. 11 Svařování metodou MIG/MAG [1]



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

Díky velkému výkonu a svařovacím rychlostem, se kterými je spojeno nižší vnesené teplo a menší deformace materiálu je metoda MIG a zejména MAG oblíbená při svařování ocelových konstrukcí a ve spojení s robotizací i v automobilovém průmyslu. [1,24]

### 3.2.5.1 MIG svařování

Zkratka MIG (Metall Inert Gas) označuje metodu svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu, který má za úkol pouze ochrannou funkci spočívající v zamezení přístupu vzduchu ke svarové lázni. Nedochází tedy k chemické interakci ochranného plynu s roztaveným kovem. MIG svařování je obecně vhodné pro svařitelné lehké kovy jako např. hliníku a jeho slitin, bronzů (slitin mědi), titanu atd. Jako ochranný inertní plyn je nejpoužívanější Argon. Při automatizovaném a robotizovaném svařování se používá zejména směs Argon + Helium.[24]

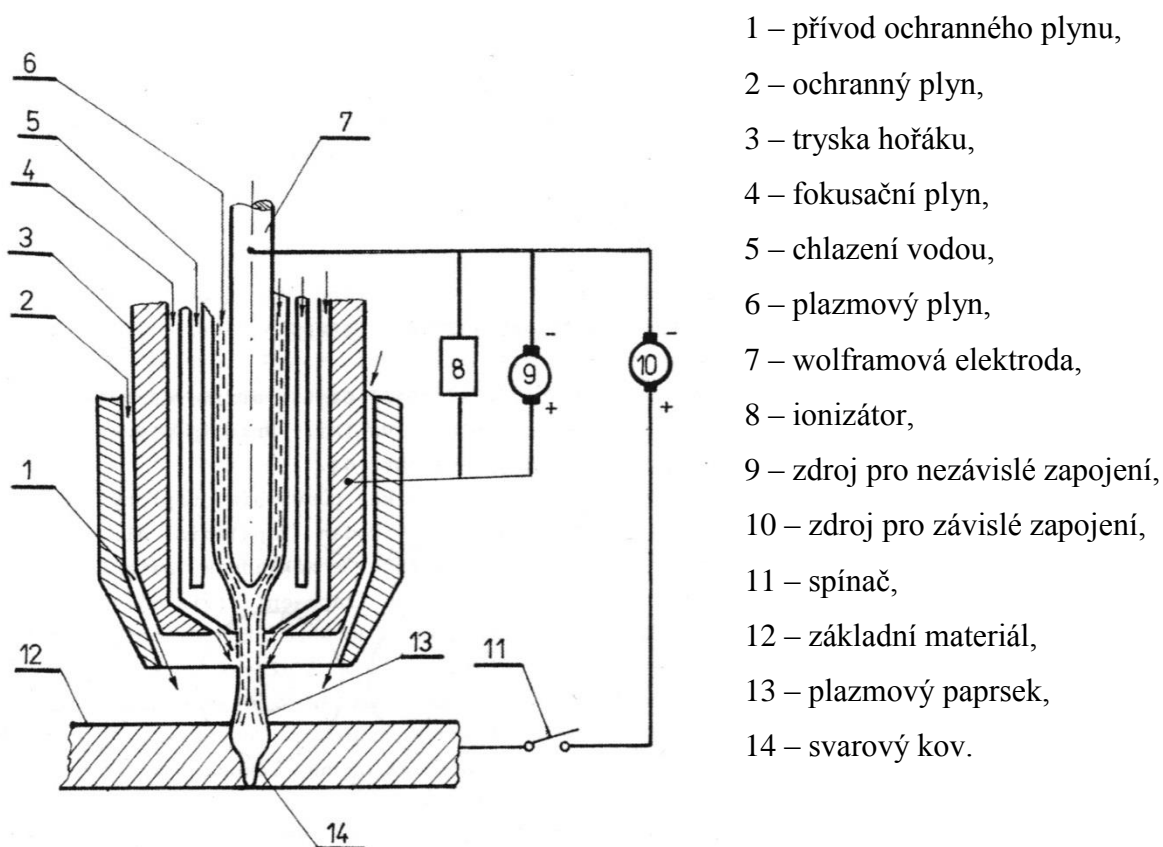
### 3.2.5.2 MAG svařování

Zkratka MAG (Metall Active Gas) označuje metodu pracující v ochranné atmosféře aktivního plynu. Aktivní plyn má nejen ochrannou funkci, ale také vstupuje do chemických reakcí ve svarové lázni a aktivně se podílí na procesech probíhajících ve svarové lázni. Jako ochranné plyny se používají směsi Argon + CO<sub>2</sub> (pro nelegované a nízkolegované oceli), Argon + O<sub>2</sub> (pro vysocelegované oceli). Vícesložkové směsi na bázi Argonu (Ar, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N) se používají pro speciální účely a automatizované a robotizované svařování. MAG svařování je vhodné zejména ke svařování ocelí. [24]

### 3.2.6 Plazmové svařování

Jako zdroj tepla se používá proud plazmatu vystupující z hořáku (Obr. 12). Plazmou se označuje disociovaný a ionizovaný plyn, který je schopen vést elektrický proud. Plyn je ohříván na vysokou teplotu cca 20 000 °C. Nejvhodnějším zdrojem tepla je elektrický oblouk. Jako plazmového plynu se používá Argon, méně často H, N a He. Do oblouku, který hoří mezi wolfram-thoriovou katodou a měděnou (vodou chlazenou) anodou, se přivádí plazmový plyn. Anoda se zužuje a z ústí hořáku vystupuje plazmový paprsek s vysokou plošnou hustotou energie. Vysoká energie plazmy umožňuje svařovat i materiály s vysokou teplotou tavení (molybden, wolfram) a materiály s velkou tepelnou vodivostí (měď, hliník).[1,23]

Obr. 12 Princip plazmového hořáku [6]



### 3.3 Spojení nýtováním a prolisováním

#### 3.3.1 Nýtové spoje

Nýtováním se vytvářejí nerozebíratelná pevná spojení dvou a více součástí, která nelze bez porušení nýtu nebo spojované součásti rozebrat. Vytváří se dobové, tvarové a silové spojení, které vzniká nejčastěji tvářením nýtů za studena. Dnes se používají jen v menší míře,

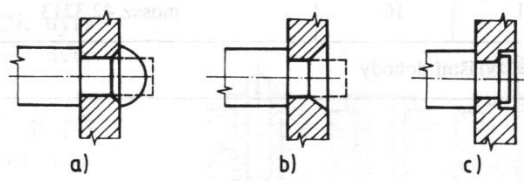
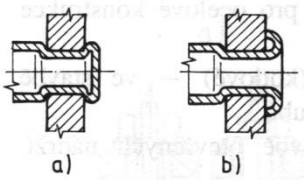
a to především ke spojování těžko svařitelných materiálů, na montážích, kde není přívod proudu, u plechů a profilů z lehkých slitin. V dnešní době se nahrazují většinou lepenými spoji, které vyžadují méně přípravných prací. Nýtování se používá ve větším rozsahu v leteckém průmyslu, nýty z vodivých materiálů se používají v elektronice. [3,19,21]

### 3.3.1.1 Druhy nýtování

Nýtování se dělí na dva základní typy, přímé a nepřímé nýtování.

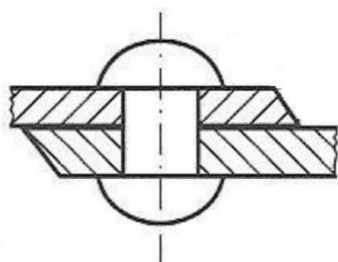
**Přímé nýtování** – nepoužívá nýtů, ale nerozebíratelný spoj vznikne roznýtováním konce jedné ze spojovaných součástí. Příklady přímého nýtování jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3 Příklady přímého nýtování.[3]

Druh	Provedení
Spoj čepu s plechem – závěrná hlava: a) půlkulová, b) záпустná, c) plochá	
Spoj trubky s plechem: a) napěchováním, b) okroužením	

**Nepřímé nýtování** – využívá ke vzniku spojení částí spojovací součásti – nýtu. Nýt prochází ve spojovaných částech dírou a svírá je svými hlavami (Obr. 13). [3,20]

Obr. 13 Nepřímé nýtování [20]



### 3.3.1.2 Technologie nýtování

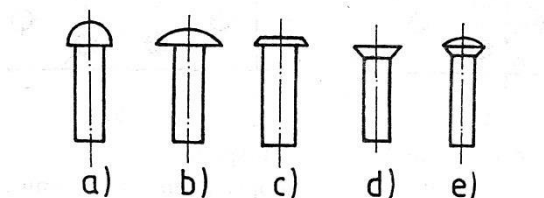
Postup zhotovení nýtového spoje se skládá z několika základních operací:

- Zhotovení díry pro nýt, její úprava, popř. pokud má nýt zapuštěnou hlavu, tak zahloubení díry. Díry lze zhotovovat vrtáním nebo děrováním. U tenkých spojovaných součástí se používá především děrování, kvalita je ale horší než u vrtaných děr a únosnost nýtových spojů zhotovených děrováním je menší. Průměr díry je vždy větší než průměr nýtu, aby bylo možné jeho vložení.
- Do zhotovené díry se vloží nýt, podepře se jeho opěrná hlava opěrkou a sevrou (utáhnou) se spojované části.
- Spoj se dokončí plastickou deformací dřívku, a tím se vytvoří závěrná hlava. [3]

### 3.3.1.3 Provedení nýtů a nýtových spojů

Nýtů se používá velké množství, liší se především materiálem, povrchovou úpravou a tvarem (Obr. 14). Většina nýtů je normalizována a vyrábí se z měkké oceli, mosazi, hliníku, atd.

Obr. 14 Různé druhy nýtů [3]



a) půlkruhová hlava, b) nízká půlkruhová hlava, c) plochá hlava, d) zápusťná hlava, e) zápusťná čochovitá hlava.

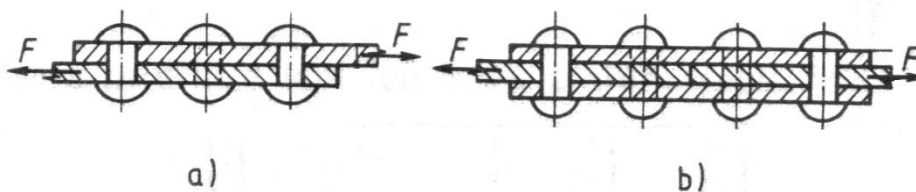
Nýtové spoje se rozdělují na:

- pevné (konstrukční)
- pevné a nepropustné (kotlové)
- nepropustné
- stehové (nesilové)

Konstrukční uspořádání nýtových spojů:

- přeplátované (přesažné) (Obr. 15a ) s jednostřížnými nýty
- s dvěma stykovými deskami (Obr. 15b) s dvojstřížnými nýty [3,18]

Obr. 15 Základní druhy nýtových spojů [3]



a) přesažný spoj, b) spoj se dvěma stykovými plochami

#### 3.3.1.4 Speciální způsoby nýtování

Z důvodů konstrukčních, technologických a montážních se používají speciální nýty, kterých je celá řada:

- Nýty s vyšší smykovou pevností – používají se při zvýšeném požadavku na pevnost, tváření hlavy je u nich díky jejich vysoké pevnosti obtížné.
- Duté a poloduté nýty – využívají se především z důvodu snížení hmotnosti.
- Nýty přístupné jen z jedné strany – závěrnou hlavu je nutné zhotovit ze stejné strany, jako se vkládá nýt.
- Nýty s kompenzátorem – používají se při zvýšeném požadavku na únavovou životnost spoje.
- Výbušné nýty – po vložení do díry se opěrná hlava ohřívá a trhavina uložená ve dřívku exploduje a vytvaruje závěrnou hlavu. [3,18]

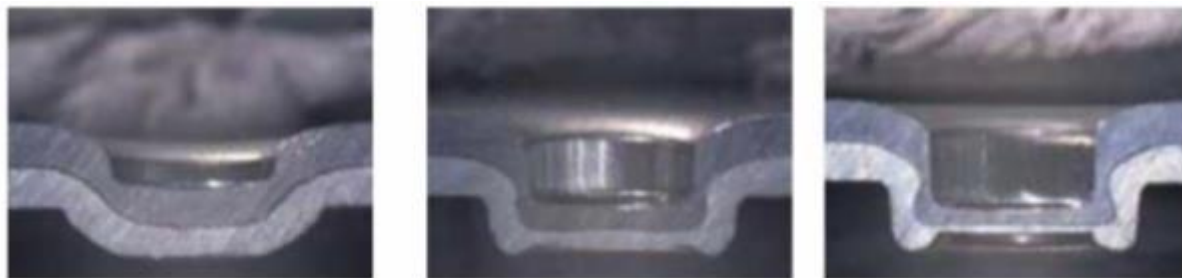
#### 3.3.2 Spojení prolisováním - clinching

V dnešní době, kdy se v automobilovém průmyslu čím dál více klade důraz na snižování hmotnosti karoserie a zlepšování jejich mechanických vlastností se k její konstrukci využívá kombinace různých materiálů různých vlastností. V karoserii jde především o kombinaci plechů z vysokopevnostní oceli a slitin na bázi hliníku. Tyto materiály jsou často obtížně svařitelné nebo to vůbec není možné. Spojení prolisováním (tzv. clinching) je schopno rychle (na rozdíl od lepení) spojit různé druhy materiálu, bez tepelného ovlivnění spojovaných součástí. Často nahrazuje bodové svařování, oproti kterému je o 30 až 60% ekonomičtější a spoje dosahují až 70% statické pevnosti bodového svařování. [9,31]

### 3.3.2.1 Základní princip a charakteristika

Materiály se spojí prolisováním (Obr. 16) vzájemně do sebe. Na vrchní materiál působí razník, který ho protlačuje i se spodním materiálem do matrice, kde dochází k zatečení vrchního materiálu do spodního.

Obr. 16 Fáze tvorby spoje [31]

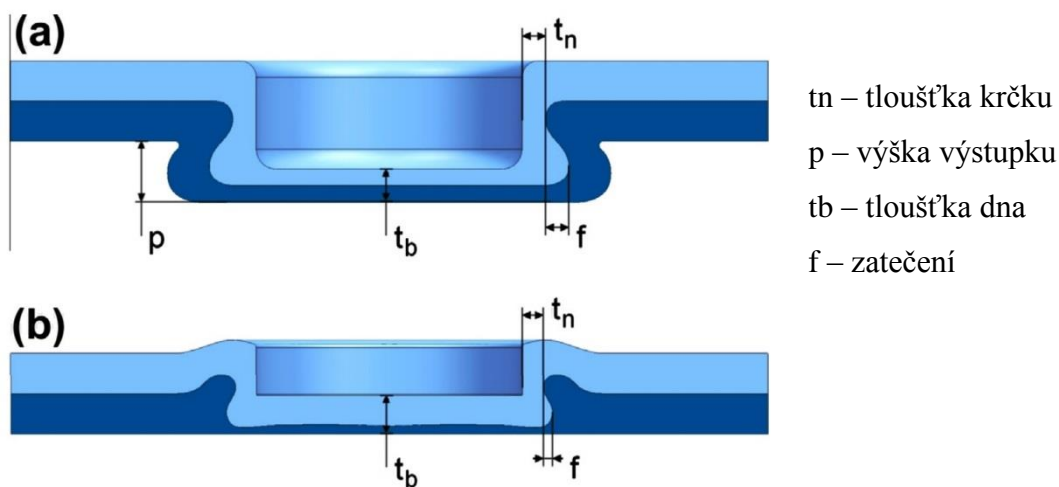


Spoje prolisováním se vyznačují velice dobrou odolností při dynamickém zatěžování, ale v případě statického a rázového zatížení mají pevnost menší v porovnání s bodovými svary. Jedná se o tváření za studena, tudíž zde není tepelně ovlivněná oblast, která by mohla vést ke změně mechanických vlastností materiálu. Při prolisování dochází k poměrně velké plastické deformaci, materiály proto musí mít dostatečnou tažnost, aby nedošlo k jejich porušení. Tato metoda nevyžaduje žádné přípravné práce (např. předvrtání díry) ani doplňující spojovací součásti (např. šrouby, nýty). Dají se spojovat materiály stejného druhu (kov a kov, např. ocel a hliník) stejně jako materiály rozdílných druhů (např. hliník a plast). [8]

### 3.3.2.2 Trendy a vývoj - „flat-clinch-technology“

Mezi jeden z nejvíce limitujících faktorů této technologie spojování materiálů je výstupek vyčnívající z povrchu plechu po jejich prolisování (Obr. 17a). Díky tomuto výstupku nemůže být konvenční technologie prolisování použita na viditelných částech (např. povrch karoserie automobilu) a na funkčních částech (např. kluzné plochy). Aby bylo možné odstranit tento nedostatek, tak byla vyvinuta tzv. „flat-clinch-technology“ při které je během jednoho kroku vytvořen bodový jednostranně rovinný spoj (Obr. 17b).

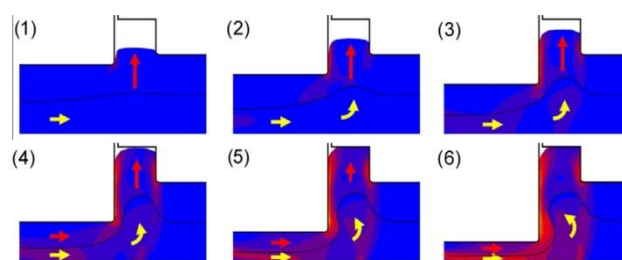
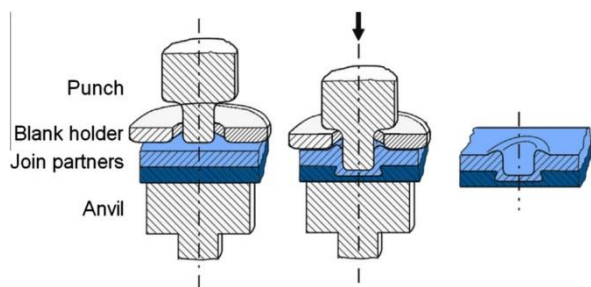
Obr. 17 Porovnání konvenčního spojení prolisování (a) s jednostranně rovinným spojením (b) [8]



Je toho dosaženo použitím ploché matrice namísto matrice s dutinou, která je používána u konvenčního způsobu prolisování. Pracovní princip je zobrazen na (Obr. 18). Spojované materiály se umístí na matici. Poté se spustí dolů přidržovač, který díly zafixuje ve správné pracovní poloze a při samotném procesu lisování ovlivňuje zatékání materiálů do sebe (Obr. 19). Následně se také spustí dolů a zalisuje materiály do sebe.

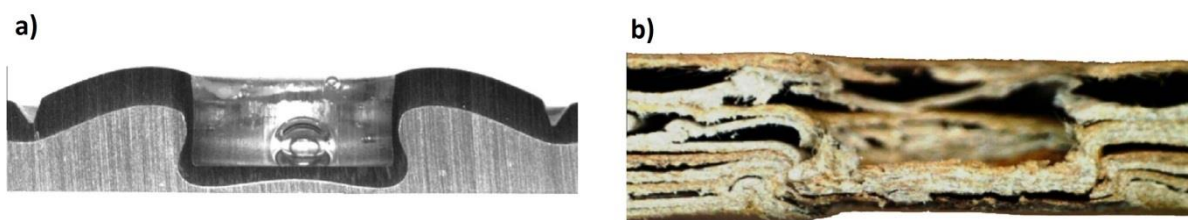
Obr. 18 Princip metody „flat-clinching“ [8]

Obr. 19 Materiálový tok při metodě „flat-clinching“ [8]



Touto metodou se dají spojovat nejen kovové materiály (Obr. 20a), ale např. i karton (Obr. 20b)

Obr. 20 Příklad materiálů spojených metodou „flat-clinching“ [8]



a) spojení ocelového plechu (horní) a hliníkového (spodní)

b) spojení vlnitého kartonu [8]

### 3.4 Pájení

Pájení je jeden z nejstarších způsobů spojování materiálů za pomoci působení tepla. Bylo známé již zhruba 1500 let před našim letopočtem, ale k jeho prudkému rozmachu došlo až po roce 1930, kdy se začalo postupně používat v elektronickém, automobilovém a lehkém průmyslu.

Při pájení vzniká nerozebíratelný spoj dvou a více materiálů. Na rozdíl od tavného svařování se však nedosahuje tak vysokých teplot a nedochází k natavení základního materiálu, ale pouze k natavení přídavného materiálu tzv. pájky, která smáčí spojované plochy. Ve většině případů také dochází k difúzi a rozpouštění stykové plochy v roztavené pájce. [5,6,3]

#### 3.4.1 Pájky a tavidla

Pájky jsou přídavné materiály ve formě tyčinek, drátu, pásků, folií, prášků atd., které musí splňovat celou řadu podmínek. Pro vytvoření kvalitního spoje je předpokladem, aby základní materiál, pájka, i tavidlo byly ohřáté na pracovní teplotu a aby základní materiál a pájka měli dobré pájecí vlastnosti:

- Smáčivost – schopnost roztavené pájky vytvořit na povrchu základního materiálu souvislý povlak s úhlem smáčení viz (Obr. 21) menším než  $90^\circ$ . Úhel smáčení je závislý nejen na druhu pájky, ale i na tavidle a základním materiálu.
- Roztékavost – schopnost roztavené pájky nebo tavidla se roztékat na vodorovném povrchu při určité teplotě.



- Vzlínavost – je schopnost vyplnit mezeru spoje roztavenou pájkou při pájecí teplotě působením kapilárních sil. Kapilární síla je ovlivněna povrchovým napětím mezi roztavenou pájkou a materiálem.
- Pájitelnost – vyjadřuje vzájemnou vhodnost mezi pájkou, tavidlem a základním materiálem k vytvoření spoje požadovaných vlastností.

Tavidlo je chemický prostředek, který odstraňuje z pájené plochy oxidy, chrání ji při pájení proti další oxidaci a pozitivně ovlivňuje povrchové napětí pájky. Tavidla mohou být anorganická nebo organická, ve formě pasty, prášku, roztoku, emulze, plynu nebo se mohou vyskytovat i uvnitř pájky. [5,6]

### 3.4.2 Rozdělení pájení

Pájení můžeme rozdělit podle teploty na:

- Měkké pájení – používá se s tavidly, bod tavení pájky se pohybuje pod 450°C. Spoje mají nižší mechanické vlastnosti a používají se tam, kde nejsou příliš teplotně ani pevnostně namáhané.
- Tvrdé pájení – je často použito tavidla, bod tavení pájky se pohybuje nad 450°C. Spoje mají již poměrně vyšší mechanické vlastnosti a mohou být v porovnání s měkkým pájením více teplotně i pevnostně namáhané.
- Vysokoteplotní pájení – tavidlo není použito, provádí se v ochranném plynu nebo vakuu, bod teploty tavení pájky se pohybuje nad 950°C. [5,6]

Způsoby pájení se dají rozlišovat podle mnoha dalších kritérií, např.:

- Podle tepelného zdroje – pájení páječkou, horkým plynem, plamenem, elektrickým odporem, elektrickým obloukem, laserem, infračerveným zářením.
- Podle tvaru mezery a spájené plochy – pájení kapilární, nanosové a do úkosu.
- Podle prostředí – pájení na vzduchu, redukčním plynem, inertním plynem, ve vakuu.
- Podle způsobu práce – pájení dopředu, dozadu a pájení ruční, mechanizované, automatické. [5,6]

### 3.4.3 MIG pájení

Jde o perspektivní metodu spojování především galvanicky pozinkovaných plechů, používaných v automobilovém průmyslu stále ve větší míře. Tato metoda zachovává

mechanické vlastnosti a odolnost proti korozi. Používá se především proto, že při svařování pozinkovaných ocelových plechů metodami MIG/MAG je hořící oblouk nestabilní, tvoří se póry, obsah zplodin je vyšší, zinkové páry způsobují rozstřík a dochází k provaření zinkové vrstvy. Proto se začalo používat tvrdého a vysokoteplotního MIG pájení. Zdrojem tepla je elektrický oblouk vytvořený standardním MIG/MAG zdrojem.

Ocelový drát nahradil bronzový ( $\text{CuSi}_3$ ). Pájení tímto drátem díky jeho vysokému obsahu mědi (a tím i vysoké ceně) je vhodné hlavně v průmyslové výrobě, kde má velkou perspektivu jelikož eliminuje do značné míry nežádoucí účinky vznikající při klasickém svařování pozinkovaných materiálů a redukuje náklady na dodatečnou protikorozi ochranu svarů pozinkovaných materiálů. Kromě drátu  $\text{CuSi}_3$  se používají i dráty typu  $\text{CuAl}_8$  nebo  $\text{CuSn}_6$  (hliníkový nebo cínový bronz), ty se ale používají v malé míře. Jako ochranný plyn se používá Argon, případně také  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + \text{O}_2$ , který stabilizuje elektrický oblouk a zlepšuje smáčivost pájky. [15, 16]

#### **3.4.4 Laserové pájení**

Využívá se např. ke spojování dílů karoserií, kde není nutno využít svařování a s ním spojené nebezpečí deformace dílů v důsledku nadměrného ohřevu. Proces laserového pájení probíhá shodně s klasickým pájením, při kterém se taví pouze pájka, která základní materiál smáčí a nedochází k jeho natavení. Zdrojem tepla je laserový paprsek, takže platí obecné přednosti laserů - spoj je ohříván jen v úzké stopě a energie paprsku je koncentrovaná na pájku. Dříve se většinou využívalo pevnolátkových Nd-YAG laserů, v poslední době se začali používat i výkonné diodové lasery. Ty mají hned několik výhod, např. odlišný profil paprsku, který je pravoúhlého průřezu s téměř konstantním rozdělením intenzity záření na rozdíl od jiných typů laserů majících kruhový profil paprsku. Při správném směřování paprsku umožňuje tato technologie předehřev pájených míst ještě před nanášením pájky a laser je schopen udržet pájku déle v tekutém stavu. Takový proces je rychlejší s lepším pokrytím pájených míst pájkou, a tím dochází i ke zvýšení kvality spoje. U diodových laserů vyniká i vysoká životnost laserových diod (až 10 000 hodin) oproti výbojkám (500 až 1000 hodin), které jsou používány u pevnolátkových laserů. V neposlední řadě mají diodové lasery více než poloviční provozní náklady než Nd-YAG lasery. [17]

Rozdělení mikropájení:

- Měkké mikropájení – je obzvláště oblíbené při výrobě elektroniky, osazování plošných spojů, pájení nebo odletování elektronických prvků, které nesmí být

vystaveny tepelnému zatížení. Pájení elektronických prvků laserem se většinou provádí v sériové výrobě, kde je důležité dosáhnout kvalitních spojů v časovém průběhu už od desetin sekundy.

- Tvrdé mikropájení – je v poslední době více používá technologie laserového pájení natvrdo, které má podstatně větší pevnost spoje než měkké pájení. Tvrdé pájení je také vhodné ke spojování dílů se speciální povrchovou úpravou. Pájení nenarušuje povrchovou vrstvu zejména u pozinkovaných plechů, je možné pájet i díly z hliníku a jeho slitin popř. i nesourodé materiály typu ocel-hliník. V současné době se používá především k pájení ocelových karosářských dílů.[14,17]

### **3.5 Šroubové spoje**

Šroubový spoj se skládá z nejméně tří částí: spojovacího šroubu a spojovaných součástí. Je to spoj rozebíratelný a patří k nejrozšířenějším způsobům montáže a demontáže strojních zařízení. V Evropě se u spojovacích šroubů používá závit metrický, v menší míře se používá i závit Whitworthův hlavně při výrobě některých strojů pro export a při opravách importovaných strojů. Pro šroubové spoje se většinou používají normalizované šrouby, matice a podložky. Šroubový spoj je velmi spolehlivý, ale za určitých okolností se může šroub uvolnit, a tak by měl být opatřen zajištěním.[3]

#### **3.5.1 Druhy spojovacích šroubů**

- Maticové šrouby - Šroub se skládá z válcového dřívku se závitem a zpravidla hlavy, která může být v různé podobě šestihranné, čtyřhranné nebo válcové s vnitřním šestihranem, kuželové s drážkou atd. Šroub může být i v provedení bez hlavy se závitem na každé straně. Matice se vyskytují nejčastěji v provedení šestihranném, příp. čtyřhranném, výjimečně v jiném tvarovém provedení. Při spoji se využívá podložky. Dává se pod matice z důvodů rozložení tlaku na větší plochu, k zamezení odírání součásti pod maticí a v případě zešikmeného povrchu materiálu snižují případný ohyb šroubu.
- Závrtné šrouby – Mají závit na obou koncích dřívku, na válcové části dřívku se dělají dvě malé rovinné plošky pro klíč. Tímto klíčem se závrtný šroub pevně zašroubuje do díry, ve které je závit. Závrtné šrouby se nesmí lícovat, musí dírou v připojované součásti volně procházet. Toto spojení je finančně nákladnější než použití maticového

šroubu a rozložení napětí podél délky závrtného šroubu (tzv. tvarová pevnost šroubu) je také horší. Proto se používá pouze z konstrukčního hlediska nebo jiných nezbytných důvodů, např. k připojení příruby výfukového potrubí k hlavě motoru, k připojení hlavy motoru k bloku válců atd.

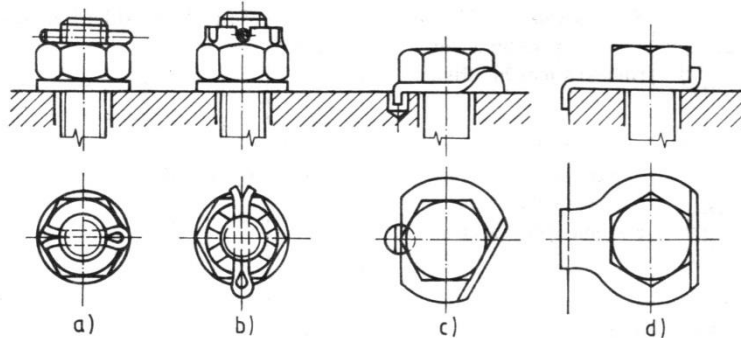
- Šrouby a matice pro zvláštní účely – Jak název napovídá, jedná se o tvarově a účelově specifické součásti, např. šrouby stavěcí, rozpěrací, závěsné, napínací, základové, závitorezné, zátkové, závrtné do měkkých materiálů atd. [4]

### 3.5.2 Zajištění šroubových spojů

Mohou nastávat situace, kdy se může matice účinkem dynamického namáhání uvolnit, proto je potřeba použít přídavné pojištění, které může být:

- Materiálové – přivařením, připájením, přilepením.
- Tvarové (Obr 21)

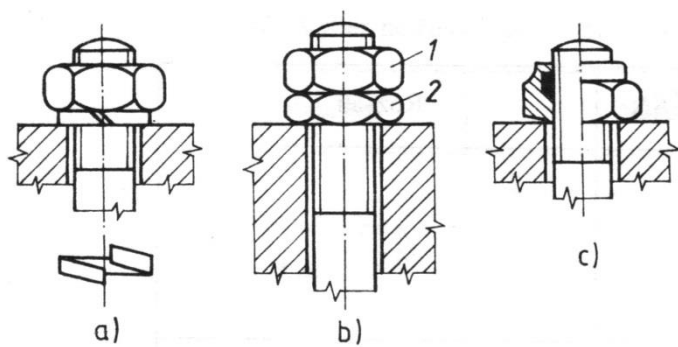
Obr. 21 Tvarová pojištění šroubů [3]



- a) závlačkou,
- b)závlačkou a korunovou maticí,
- c) pojistnou podložkou s nosem,
- d) pojistnou podložkou s jazíčkem

- Silové zajištění matic (Obr. 22) se nejjednodušeji dosáhne přítužnou maticí (tzv. kontramatkou) nebo pružnou podložkou.

Obr. 22 Silová pojištění matic [3]



- a) pružnou podložkou, b) dvěma maticemi: 1 – nosná matice, 2 – přítužná matice,  
c) samojistná matice se zalisovaným polyamidovým kroužkem

## 4 SWOT analýza metod spojování

SWOT je zkratka složená z počátečních písmen slov Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti) a Threats (hrozby). Úkolem analýzy je se nad těmito prvky zamyslet a případně z nich vyvodit závěry a důsledky. Je to univerzální analytická technika, nejčastěji se prezentuje pomocí tzv. matice SWOT.[33]

### 4.1 Lepení

Největší výhodou lepení oproti ostatním metodám spojování je schopnost spojit široké množství různorodých materiálů, které by jinou metodou nebylo možné (např. guma a plast). Nedochozí k porušení povrchu materiálu a ve spoji dochází k rovnoměrnému rozložení napětí. Velkou nevýhodou je, že spoj nezíská svoji maximální pevnost okamžitě, proto jsou trendem kyanoakryláty, superrychlá vytvrzující lepidla, které se snaží tento nedostatek minimalizovat. Lepidla jsou náročná na dodržení přesného technologického postupu (nanesená vrstva, mísení složek u vícesložkových lepidel), zde je možnost proces robotizovat a automatizovat, aby bylo dosaženo kontinuálně vysoké kvality spojů.

Tab. 4 SWOT matice lepení

<b>Lepení</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• spojování různých materiálů</li><li>• vysoké pevnosti ve smykovém namáhání</li><li>• zanedbatelná hmotnost</li><li>• těsnost spojů</li><li>• antikorozi ochrana</li><li>• spojení tenkých materiálů</li><li>• tlumí vibrace</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nerozebíratelný spoj</li><li>• namáhání odlupováním</li><li>• doba vytvrzování</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• rychlost vytvrzování</li><li>• použití v sériové výrobě</li><li>• snížení nákladů</li><li>• snížení hmotnosti</li><li>• automatizace robotizace</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nedostatečná úprava povrchu</li><li>• teplotní odolnost</li><li>• stárnutí</li><li>• tečení</li></ul>

## 4.2 Svařování

Jakož to jeden z klíčových způsobů spojování materiálu v automobilovém průmyslu jsou na svařování kladeny vysoké nároky. Zejména se jedná o vysokou kvalitu svaru a rychlost svařování, kde klíčovou roli hraje robotizace a automatizace celého procesu, která je schopna zajistit nejen kontinuální vysokou kvalitu spojení, ale především rychlost a efektivitu celého procesu. S tím je spojena vyšší výrobní kapacita a možnost dosáhnout lepších ekonomických výsledků. Stinnou stránkou všech automatizovaných systémů je nutnost vyšší počáteční investice.

### 4.2.1 Laserové svařování

Tab. 5 SWOT matice laserové svařování

<b>Laserové svařování</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• vysoká rychlost svařování</li><li>• hloubka svaru</li><li>• úzký svar</li><li>• malá tepelně ovlivněná oblast</li><li>• spektrum svařovaných materiálů</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• vysoké pořizovací a provozní náklady</li><li>• nutnost přesného slícování materiálu</li><li>• nízká energetická účinnost</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• automatizace a robotizace</li><li>• laserem lze materiál i dělit</li><li>• zvýšení produktivity</li><li>• dosažení těžko přístupných míst</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nedostatečně proškolený personál</li><li>• bezpečnost obsluhy</li></ul>

#### 4.2.2 Odporové svařování

Tab. 6 SWOT matice odporové svařování

<b>Odporové svařování</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• rychlost</li><li>• vysoká efektivita</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nároky na čistotu svařovaného materiálu</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• robotizace a automatizace</li><li>• vysoká produktivita</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nekvalitní připojení k elektrické síti</li><li>• různé tloušťky materiálů</li></ul>

#### 4.2.3 TIG/WIG svařování

Tab. 7 SWOT matice TIG (WIG) svařování

<b>TIG/WIG svařování</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• kvalitní svar</li><li>• ochrana svarové lázně</li><li>• koncentrovaný paprsek</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• menší svařovací výkon</li><li>• velké vnesené teplo</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• pulzující podavač přídavného materiálu</li><li>• zvýšení rychlosti svařování</li><li>• robotizace a automatizace</li><li>• bezdotykové zapálení oblouku</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• přilepení elektrody</li><li>• wolframové vměšky ve svaru</li><li>• obsluha</li></ul>



#### 4.2.4 MIG/MAG svařování

Tab. 8 SWOT matice MIG/MAG svařování

<b>MIG/MAG svařování</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• kvalitní svar</li><li>• malé vnesené teplo a deformace</li><li>• vysoká svařovací rychlost</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• vzhled svaru</li><li>• vyšší pořizovací cena</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• robotizace a automatizace</li><li>• eliminace rozstříku</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• náročná obsluha</li></ul>

#### 4.2.5 Svařování plazmou

Tab. 9 SWOT matice svařování plazmou

<b>Svařování plazmou</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• vysoká rychlost svařování</li><li>• vysoká kvalita svaru</li><li>• malá tepelně ovlivněná oblast</li><li>• vzhled</li><li>• vysoká teplota a koncentrace energie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• vysoké provozní náklady</li><li>• vysoká pořizovací cena</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• robotizace a automatizace</li><li>• řezání</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ohrožení ultrafialovým zářením</li><li>• vodík může tvořit výbušné směsi</li></ul>

### 4.3 Nýtování

Tab. 10 SWOT matice nýtová

<b>Nýtování</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• spolehlivý spoj</li><li>• spojované části nejsou tepelně ovlivněny</li><li>• pružnost spoje</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• menší pevnost spoje</li><li>• nepřesná vzájemná poloha</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• nepropustný spoj</li><li>• vzhled nýtu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nedostatečně stažený nýt</li><li>• zeslabení součásti dírou</li><li>• koroze mezi materiály</li><li>• nesouosost děr</li></ul>

### 4.4 Pájení

Tab. 11 SWOT matice pájení

<b>Pájení</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• spojování různých materiálů</li><li>• vysoká produktivita</li><li>• nižší ohřátí součásti</li><li>• nízká spotřeba energie</li><li>• vysoká pracovní rychlost</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• menší pevnost spoje</li><li>• nutnost přípravy povrchu</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• mechanizace a automatizace procesu</li><li>• pěkný povrchový vzhled</li><li>• nové pájky</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• závislost pevnosti spoje na technologických parametrech pájení</li><li>• nižší tepelná odolnost spoje</li><li>• elektrolytická koroze</li><li>• jakost povrchu pájené plochy</li></ul>

## 4.5 Šroubové spoje

Tab. 12 SWOT matice šroubové spoje

<b>Šroubové spoje</b>	
<b>S – silné stránky</b>	<b>W – slabé stránky</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• rozebíratelný spoj</li><li>• snadná montáž</li><li>• vysoká pevnost</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• nutnost pojištění proti povolení</li><li>• oslabení materiálu dírou</li></ul>
<b>O – příležitosti</b>	<b>T – hrozby</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• jednoduchost</li><li>• rychlá demontáže</li><li>• variabilita šroubů</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• uvolnění matice</li><li>• koroze</li></ul>

## 5 Závěr

V práci jsou charakterizovány vybrané metody spojování materiálu z oblasti svařování, lepení, pájení, nýtování a šroubových spojů. Vzhledem k široké rozmanitosti metod spojování není jednoduché vybrat tu nejlepší a konstruktér musí zohlednit velké množství faktorů a požadavků na daný výrobek. Určení vhodného a příznivého spoje závisí ve velké míře na provozních podmínkách a zatížení spoje, na požadované bezpečnosti, na počtu spojovaných součástí, a s tím souvisejícím požadavkem na automatizaci výroby. Trend automatizace a robotizace výroby je v dnešní době jasně daný. Díky technickému vývoji a zlepšující se cenové dostupnosti robotů je snaha co nejvíce úkonů zrobotizovat s cílem zrychlení a snížení nákladů na proces. Díky možnosti (nutnosti) automatizovat např. technologie laserového svařování, která je velice technicky a finančně náročná oproti jiným technologiím se podařilo dosáhnout takové kvality a výkonnosti zařízení, která ji v dnešní době dělá velice populární. Ostatní technologie např. lepení se také těší čím dál větší oblibě a to především díky schopnosti spojit různorodé materiály, které jiné metody spojit nedokáží nebo jen velice obtížně. Lepidla s sebou také ale přinášejí některé nevýhody jako je jejich doba vytvrzování, stárnutí a citlivost na některé druhy namáhání. Mezi velice perspektivní metody patří spojení prolisováním (např. flat-clinching), které má díky své energetické nenáročnosti, rychlosti, ekologičnosti a ekonomické příznivosti velký potenciál rozvoje do budoucna a může sloužit k nahrazování některých konkurenčních metod.

## 6 Seznam literatury

- [1] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka svazek 8*. 1. vydání. Praha: Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [2] PETERKA, J. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980. 788 s.
- [3] KRÍŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka svazek 5*. Praha: Scientia, spol. s.r.o. v Praze, 1994. 241 s. ISBN 80-85827-59-X.
- [4] ZACHARIÁŠ, L. *Části strojů*, Skriptum ČZU, Nakladatelství ČZU, Praha, 2007. 436 s. ISBN 978-80-213-1622-5.
- [5] BROŽEK, M. *Strojírenská technologie I*. 2. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2008. 80 s. ISBN 978-80-213-1780-2.
- [6] KOVAŘÍK, R. - ČERNÝ, F. *Technologie svařování*. Plzeň: Západočeská univerzita. 2008 dotisk. 186 s. ISBN 978-80-7082-697-3.
- [7] HABENICHT, G. *Kleben*. Berlin: Springer, 2002. ISBN 3-540-43340-6.
- [8] GERSTMANN, T., AWISZUS, B. *Recent developments in flat-clinching*. Computational Materials Science [online]. Volume 81, 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S092702561300414X>
- [9] MUCHA, J., KAŠČÁK, L., SPIŠÁK, E. *Joining the car-body sheets using clinching process with various thickness and mechanical property arrangements*. Archives of Civil and Mechanical Engineering [online]. Volume 11, Issue 1, 2011 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S1644966512601794>
- [10] TICHÝ, J. *Svařování v automobilovém průmyslu*. 2. část. Svět svaru [online]. 2007, č. 2. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.v.Automob\\_2007.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.v.Automob_2007.pdf)
- [11] *Technologie lepení v automobilovém průmyslu*, s. 1-9. [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)
- [12] NOVÁK I. a ŽIGO O. *Polyméry a ich kompozity v automotive*. [online]. 2013 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z <http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/automobilovy-priemysel/909-polymery-a-ich-kompozity-v-automotive>
- [13] BERAN, R. *ABC lepidla* [online]. 2005 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z [http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie\\_lepeni.pdf](http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf)

- [14] *Laserové technologie na Laser 2001*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2001, č. 10. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z <<http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologiena-laser-2001.html>>
- [15] HAVELKA, P. *MIG pájení pozinkovaných autokarosářských dílů*. Svět svaru: časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů. [online]. 2004 [cit. 2014-3-24]. Dostupné z <[http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/MIGpajeni\\_2004.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/MIGpajeni_2004.pdf)>
- [16] PAŘÍZEK, P. *MIG pájení*. [online]. 2008, [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101201>>
- [17] HLA VATÝ, I. *Teorie a technologie svařování: Pájení laserem (Laser brazing)*. [online]. 2010 [cit. 2014-3-22]. Dostupné z <<http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-19-93laser.pdf>>
- [18] *Nýtové spoje* [online]. [cit. 2014.03.24]. Dostupné z <[http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-10\\_nytovespoje.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-10_nytovespoje.pdf)>
- [19] Ribe ČR, s.r.o. *Nýtové systémy* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://www.ribe.cz/nyt.htm>>
- [20] BARTOŠ, L. *Technologie: Ruční zpracování kovů* [online]. 2007 [cit. 2014.03.24]. Dostupné z <[http://oulipova.cz/vyuka/strojari/Rucni\\_zpracovani\\_kovu.pdf](http://oulipova.cz/vyuka/strojari/Rucni_zpracovani_kovu.pdf)>
- [21] *Spojovací materiály – nýty, nýtování* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://www.modding.cz/?p=43>>
- [22] *TIG svařování I – základní principy*. [online]. 2009 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>>
- [23] *Technologie I* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z <[http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD12\\_prezetace.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD12_prezetace.pdf)>
- [24] Svarinfo.cz – Magazín praktického svařování. *MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl? I* [online]. 2008 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501>>

- [25] HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování: Bodové odporové svařování*. [online]. 2010 [cit. 2014-3-22]. Dostupné z <<http://fs1.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/10-21.pdf>>
- [26] ROUBÍČEK, M. Laserové svařování.[online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/laserove-svarovani49120.pdf>>
- [27] HADYNA, D. *Laserové svařování*. Svět svaru. [online]. 2011 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <[http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-3\\_Laser.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-3_Laser.pdf)>
- [28] KUBÍČEK, J., MRŇA, L. Technické aspekty svařování laserem. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z <<http://www.svarak.cz/images/stories/pdf/Svarov%C3%A1ni%20laserem.pdf>>
- [29] KOLAŘÍK, L. Svařování elektrickým odporem. [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z <[http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/odporove\\_svarovani.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/odporove_svarovani.pdf)>
- [30] JANOTA, M. Odporové svařování. Svět svaru. [online]. 2008 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z <[http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2\\_Odporove-svarovani.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2_Odporove-svarovani.pdf)>
- [31] *TOX Clinch Technology*. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z <<http://www.tox-en.com/products/joining-systems/tox-clinch-technology.html>>
- [32] ČERNÁ, J. *Představujeme kontaktní lepidla pro výrobu nábytku a realizace interiérů*. [online]. 2014 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z <<http://www.ceskestavby.cz/clanky/predstavujeme-kontaktni-lepidla-pro-vyrobu-nabytku-a-realizace-interieru-22870.html>>
- [33] ZIKMUND, M. *Kde se vzala a k čemu všemu je vlastně SWOT analýza*. [online]. 2010 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z <<http://www.businessvize.cz/planovani/kde-se-vzala-a-k-cemu-vsemu-je-vlastne-swot-analyza>>

## Seznam obrázků:

Obr. 1 Porovnání rozložení napětí u svařovaných, nýtovaných a lepených spojů [7] .....	4
Obr. 2 Adheze a koheze. [32] .....	4
Obr. 3 Smáčivost lepených povrchů [5] .....	6
Obr. 4 Základní druhy zatížení lepených spojů [5] .....	7
Obr. 5 Použití lepidel ve stavbě karoserie [11] .....	9
Obr. 6 Princip laserového svařování [26] .....	11
Obr. 7 Rozdělení metod odporového svařování [25] .....	13
Obr. 8 Bodový svarový spoj [25] .....	14
Obr. 9 Relativní podíl svařovacích technologií při výrobě vozů Škoda [30] .....	15
Obr. 10 Princip TIG svařování [1] .....	16
Obr. 11 Svařování metodou MIG/MAG [1] .....	17
Obr. 12 Princip plazmového hořáku [6] .....	18
Obr. 13 Nepřímé nýtování [20] .....	19
Obr. 14 Různé druhy nýtů [3] .....	20
Obr. 15 Základní druhy nýtových spojů [3] .....	21
Obr. 16 Fáze tvorby spoje [31] .....	22
Obr. 17 Porovnání konvenčního spojení prolisování (a) s jednostranně rovinným spojem (b)	23
Obr. 18 Princip metody „flat-clinching“ [8] .....	23
Obr. 19 Materiálový tok při metodě „flat-clinching“ [8] .....	23
Obr. 20 Příklad materiálů spojených metodou „flat-clinching“ [8] .....	24
Obr. 21 Tvarová pojištění šroubů [3] .....	28
Obr. 22 Silová pojištění matic [3] .....	29



## Seznam tabulek:

Tab. 1 Báže lepidel, charakter lepeného spoje, aplikace [11] .....	8
Tab. 2 Parametry odporového bodového sváření [5] .....	15
Tab. 3 Příklady přímého nýtování.[3] .....	19
Tab. 4 SWOT matice lepení .....	30
Tab. 5 SWOT matice laserové svařování .....	31
Tab. 6 SWOT matice odporové svařování .....	32
Tab. 7 SWOT matice TIG (WIG) svařování .....	32
Tab. 8 SWOT matice MIG/MAG svařování .....	33
Tab. 9 SWOT matice svařování plazmou.....	33
Tab. 10 SWOT matice nýtová .....	34
Tab. 11 SWOT matice pájení .....	34
Tab. 12 SWOT matice šroubové spoje.....	35