

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra materiálu a strojírenské technologie**



**Bakalářská práce**

**Analýza perspektivních metod spojování plechů  
v konstrukci automobilů**

**Autor:** Drda Radek

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Radek Drda

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Analýza perspektivních metod spojování plechů v konstrukci automobilů

Název anglicky

Analysis of prospective methods of bonding sheets of metal in construction of automobiles

---

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o problematice spojování plechů v automobilovém průmyslu.

Na základě závěrů z literárního rozboru předmětné problematiky bakalář stanoví přínos práce.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Závěry a přínos práce.

---

**Doporučený rozsah práce**

cca 30 stran

**Klíčová slova**

Clinching, lepení, nýtování, svařování

---

**Doporučené zdroje informací**

- ADAMS, R. D., COMYN, J., WAKE, W. C.: Structural adhesive joints in engineering. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1997.
- BRANDON, D., KAPLAN, W. D.: Joining Processes: An introduction. Chichester: Wiley, 1997.
- BROCKMANN, W.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley – VCH, 2009.
- DAVIES, G.: Materials for automobile bodies. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2003. 277.
- EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. Norwich: William Andrew, 2008.
- LANCASTER, J. F.: Metallurgy of welding. Cambridge: Abington Publishing, 2001.
- MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004.
- PACKHAM, D. E.: Handbook of adhesion. Chichester: John Wiley and Sons, 2005.
- Vědecká literatura: : International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, 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, Polymer Degradation and Stability, Manufacturing technology
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2016/17 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra materiálu a strojírenské technologie

---

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2016

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 04. 2018

---

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Analýza perspektivních metod spojování plechů v konstrukci automobilů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce prof. Ing. Miroslava Müllera, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Praze dne \_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu této bakalářské práce prof. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za jeho spolupráci při tvorbě této práce. Dále chci poděkovat panu Červenkovi a společnosti PTM, s.r.o., která se zabývá spojováním plechů pro automobilový průmysl a poskytla mi informace z praxe o spojování plechů, převážně o metodě odporového bodového svařování.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce řeší problematiku spojování plechů v automobilovém průmyslu a dělí se do dvou částí. První pojednává o metodách spojování plechů, ke kterým se automobilky uchylují. Každá metoda je charakterizována a pomocí SWOT analýzy jsou shrnuty jejich výhody a nevýhody. Druhá část ukazuje použití odporového bodového svařování v praxi, jak se spoj provádí, a především jak se následně kontroluje spoj v sériové výrobě. V závěru práce jsou shrnuty a diskutovány všechny získané poznatky, které mohou pomoci při orientaci mezi používanými metodami a při výběru vhodné metody pro požadovaný materiál.

**Klíčová slova:** clinching, lepení, pájení, svařování

## **Summary:**

The bachelor thesis focuses on the analysis of prospective metal bonding methods in the automotive industry. Firstly, the most promising methods are listed and discussed. The methods are analyzed with SWOT analysis and the advantages and disadvantages are summarized. Secondly, the method of resistance welding is observed in the real application. The performance of bonding process and the control of resulting bond is shown and discussed. This overview might be used as a tool for the efficient selection of a suitable method for a particular material.

**Keywords:** clinching, bonding, soldering, welding

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Karoserie.....	2
2.1. Materiály karosérií.....	2
2.1.1. Ocel.....	2
2.1.2. Hliník a jeho slitiny .....	3
2.1.3. Hořčík a jeho slitiny .....	3
2.1.4. Kovové pěny.....	3
2.1.5. Sendvičové materiály .....	4
3. Metody spojování plechů v automobilovém průmyslu .....	5
3.1. Lepení .....	5
3.1.1. Smáčivost .....	6
3.1.2. Namáhání lepidel.....	7
3.2. Nýtování.....	10
3.2.1. Nýt.....	10
3.2.1.1. Trhací nýt.....	10
3.2.1.1. Maticové nýty .....	10
3.2.2. Druhy nýtování.....	11
3.2.2.1. Přímé nýtování.....	11
3.2.2.2. Nepřímé nýtování .....	12
3.2.3. Samočinné nýtování .....	12
3.3. Clinching.....	15
3.3.1. Lisovací stroj pro metodu clinchingu .....	16
3.3.2. Poruchy spoje clinching .....	18
3.3.2.1. Zlomení krčku spoje .....	18
3.3.2.2. Separace .....	18
3.4. Svařování .....	20
3.4.1. Metoda WIG .....	21
3.4.2. Metoda MAG/MIG.....	23
3.4.3. Svařování laserem.....	24
3.4.4. Odporové svařování.....	26

3.4.5. Odporové bodové svařování.....	27
4. Bodové svařování v praxi .....	28
Trhací zkouška.....	31
5. Závěr.....	36
6. Zdroje .....	37
7. Seznam obrázků.....	39
8. Seznam tabulek.....	40
9. Seznam vzorců.....	40



## 1. Úvod

Pro spojování plechů v automobilovém průmyslu se dnes používá řada metod, ne všechny se však jeví jako optimální, pro svůj dlouhý takt výroby, finanční náročnost nebo nešetrnost k životnímu prostředí. Používané metody se automobilky snaží zdokonalovat a automatizovat, aby se docílilo co největší kvality, produktivity, nejmenších nákladů a šetrnosti k životnímu prostředí. Správná technologie spojování je pro automobilky zásadní pro zvýšení zájmu o své produkty. Zvolením správné metody lze docílit snížení spotřeby paliva a produkováných emisí, většímu komfortu při cestování, větší bezpečnosti, a především prodloužením životnosti celého vozu. Druhým aspektem důležitým pro volbu technologie je použitý materiál. V dnešní době se jako hlavní materiál pro stavbu automobilů rozšiřují hliníkové slitiny. Nicméně, jeho svařování je stále velmi problematické kvůli tvorbě oxidu hliníku, který má velký elektrický odpor, vysokou teplotu tavení a jeho odstranění z povrchu svařovaných dílů je velmi složité. Proto se hledají nové metody a trendy ve spojování hliníkových dílců, stejně tak je tomu i u ocelí. V mé bakalářské práci se proto zabývám kritickým hodnocením používaných a nově nastupujících metod a jejich optimalizací. Zaměřuji se na perspektivní metody jako je bodové svařování, lepení, nýtování, clincing nebo laserové svařování. Každou metodu hodnotím pomocí SWOT analýzy, ve které shrnu silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby dané metody. Silné stránky (Strengths) ukazují, v čem je metoda lepší než ostatní metody a říká její výhody. Slabé stránky metody (Weaknesses) ukazují na nedostatky metody a v jakých aspektech zaostávají za jinými metodami. Příležitosti (Opportunities) nám říkají, co metoda přináší do budoucna, kam se může dále vyvíjet. Hrozby (Threats) naznačují čím nebo jakou metodou mohou být nahrazeny, protože jiná metoda může být perspektivnější nebo finančně výhodnější.

Nejrozšířenějším trendem ve spojování plechů karosérie je odporové svařování bodové. Tato metoda se v dnešní době považuje za nejvýhodnější, protože se nechá plně zautomatizovat a je finančně velmi výhodná. Bodovému svařování se ve své práci věnuji z největší části, protože s nástupem nových materiálů použitých při konstrukci automobilů se zvyšují požadavky na tuto technologii, a také na kvalitu svařování. Tuto metodu kriticky hodnotím, stejně jako ostatní metody, pomocí dostupné literatury a SWOT analýzy. Navíc podstupuji vlastní pozorování bodového svařování v praxi. Tímto pozorováním také přibližuji postup svařování a hodnocení kvality svařeného spoje. Tato práce může pomoci v orientaci mezi dostupnými a perspektivními metodami a případně pomoci při rozhodování mezi jednotlivými metodami.

## 2. Karoserie

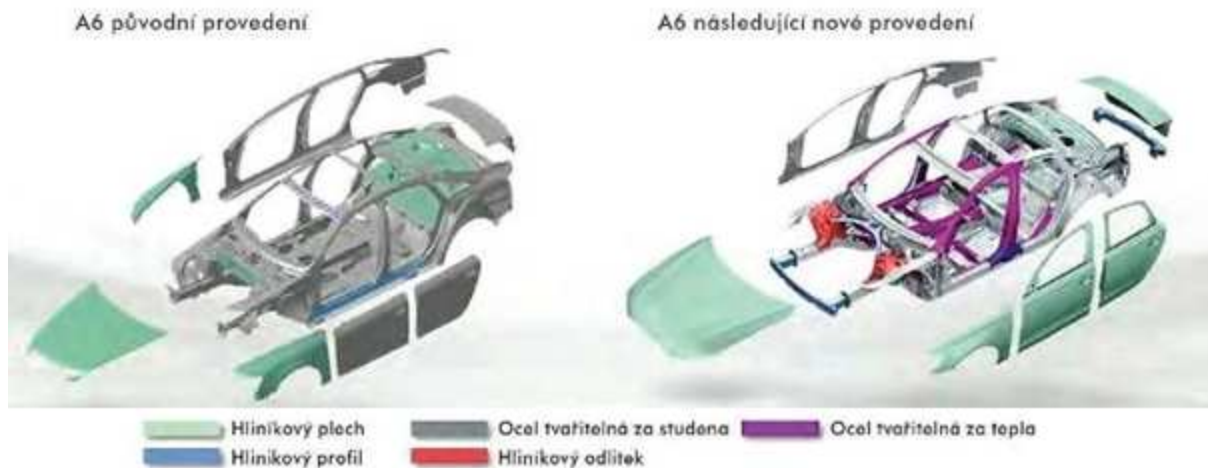
Úvodem do problematiky spojování plechů v automobilovém průmyslu je seznámení se s tím, jaké materiály, a především kdy se tyto materiály používají. Spojení těchto materiálů tvoří karoserii automobilu.

Karoserie je součástí osobních i nákladních automobilů. Spolu s podvozkem slouží k přepravě osob a nákladu. Jejím účelem je ochrana osob a nákladu, slouží také k ochraně jednotlivých částí vozu, k zajištění určitého komfortu cestujících a k jejich ochraně při havárii. Karosérie je konstruována s ohledem na bezpečnost osádky, aerodynamiku a je složena z různých částí. Součástí karosérie jsou deformační zóny, které při nárazu pohltí většinu energie z nárazu, ale prostor pro osádku musí být pevný a co nejméně deformovatelný. Musí být zajištěno případné vyproštění osob.

### 2.1. Materiály karosérií

#### 2.1.1. Ocel

Ocel je nejrozšířenější materiál pro výrobu karosérie. Především díky svým vlastnostem, jako jsou vysoká pevnost, snadná tvárnost (tažnost), dobrá svařitelnost, možnost spojování pájením, možnost mnoha povrchových úprav, pro dobrou odolnost proti korozi a tudíž dlouhé životnosti a také svojí přijatelnou cenou. Ocelový materiál se používá ve formě tabulí, pásů, svitků, dále jako ocelové profily (trubky, otevřené i uzavřené profily), tažené plné profily, výkovky, odlitky (temperovaná litina). Velikou nevýhodou oceli je její hmotnost, proto se automobilky snaží co nejvíce snížit celkovou hmotnost vozu použitím různých tloušťek plechů a jejich vhodným tvarováním. Dále použitím různých druhů materiálu, kdy se využívají lepší vlastnosti různých materiálů výhodné pro určitou část karoserie. Toto je však náročné na spojování rozdílných materiálů karoserie. Nejčastěji se svařují pomocí švového svařování nebo svařování laserem. Tyto metody jsou však technologicky i finančně dost náročné, proto se používají u velkosériové výroby, kdy náročnost a investice do strojů vykompenzují snížené náklady za materiál. Další metodou pro snížení hmotnosti karoserie je tzv. ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body), která je založena na sendvičovém řešení. Jedná se o metodu, kdy se mezi dva tenké plechy (nejčastěji o tloušťce 0,2 – 0,65 mm) dá prvek z umělé hmoty, polypropylenu, o větší tloušťce. Ocelové plechy přenesou hlavní napětí a vnitřní vrstva zvýší celkovou tuhost konstrukce. Díky tomu lze ušetřit až 25% hmotnosti. Rozdělení použitých materiálů na vozidle je vidět na Obr. 1. [1] [2] [3]



Obr. 1 - Použití různých materiálů u samonosné karoserie [2]

### 2.1.2. Hliník a jeho slitiny

Čistý hliník se nepoužívá z důvodu nízké pevnosti, a proto se používá jen ve slitině. Hliníkové slitiny se vyznačují nižší hmotností a větší odolností proti korozi než ocel, proto se používají při stavbě karosérie. Avšak nižší hmotnost má za následek menší modul pružnosti a pevnosti, proto se musí používat plechy o větší tloušťce, takže úspora na hmotnosti není tak velká, pohybuje se okolo 30 %. Náklady na tvarování hliníkových plechů jsou nižší díky menšímu modulu pevnosti, ale cena slitiny hliníku je třikrát větší než oceli, proto se zpravidla používá pouze pro určité části karosérie (boční sloupky, okenní rámy, vnější plechy aj.). Lze použít celohliníkovou karosérii, ta je však dražší, proto se používá jen u sportovních a luxusních vozů. Celohliníkové karosérie vyrábějí pro své prémiové vozy výrobci Audi, Land Rover, Jaguar, Mercedes Benz, aj. [1][2]

### 2.1.3. Hořčík a jeho slitiny

Automobilky pro své prémiové vozy stále více používají hořčík a jeho slitiny. Hořčík má nižší hustotu než hliník a díky tomu lze docílit ještě většího snížení hmotnosti. Velkou nevýhodou hořčíku je jeho nízká pevnost, a proto se nejčastěji používá ve slitině s hliníkem, který mu požadovanou pevnost dodává. Cena slitiny je však finančně vyšší, proto se používá jen u prémiových automobilů. [3]

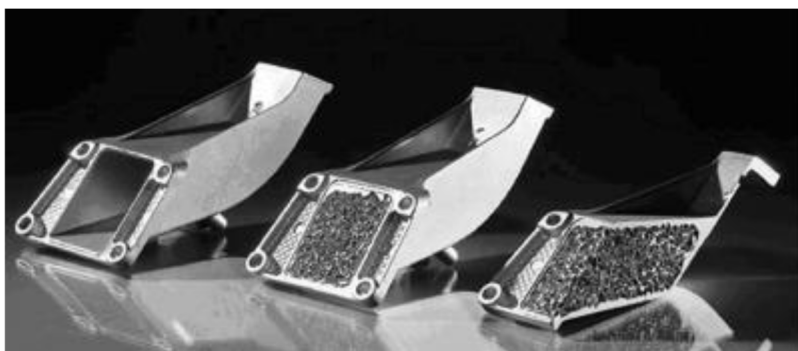
### 2.1.4. Kovové pěny

Kovové pěny jsou buněčné materiály. Jejich velké výhody jsou vynikající fyzikální a mechanické vlastnosti, jako jsou například měrná hmotnost, která je zajištěna celulární strukturou. Kovové pěny jsou vyrobené kombinací pláště z hliníku a jeho slitin a vnitřní část je tvořena pěnou, která je složena z hliníku a zpěňovačů, které se přimíchávají do taveniny. Velikost pórů je v jednotkách milimetrů. Pěnu tvoří cca 60% pórů z celkového objemu, póry jsou vyplněny ze 40 % až 98 % plynem. Výhodou je snížení hmotnosti, zvětšení pevnosti, tlumení vibrací a hluku a pohlcování nárazové energie. Díky lehkému pórovitému materiálu není konstrukce zatížena vlastní hmotností. [4] [3]

Tyto konstrukční prvky se nejčastěji používají na prahy automobilů, především pro jejich pevnost a odolnost proti vnějším podmínkám a korozi. Lze je spojovat dostupnými svařovacími metodami. Pro hliníkové materiály je to především metoda svařování laserem, která je popsána v kapitole 3.4.3 a metodou WIG, která je popsána v kapitole 0. Profil lze vidět na Obr. 2 a Obr. 3. [4]



*Obr. 2 – Řez součástí z kovové pěny [4]*



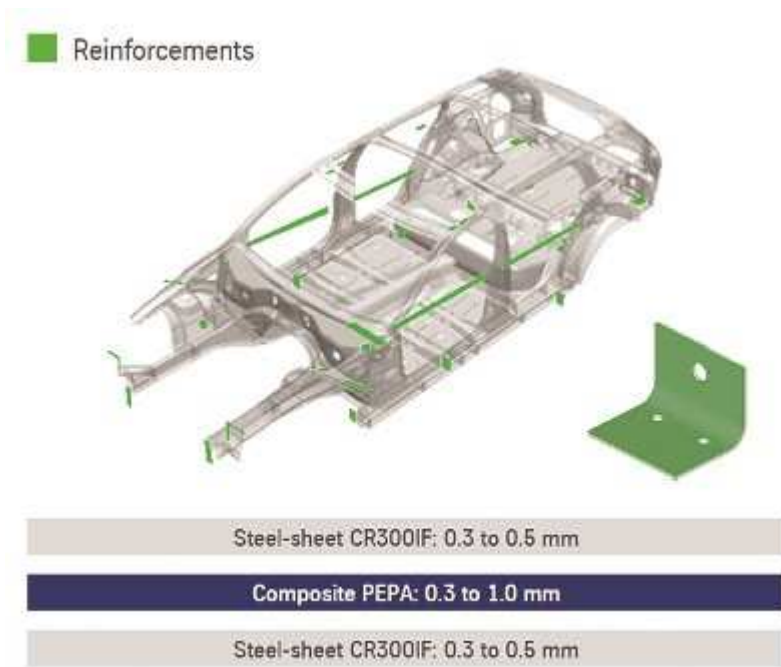
*Obr. 3 - Tvarové profily vyplněné hliníkovou pěnou METCOMB [4]*

### **2.1.5. Sendvičové materiály**

Sendvičové materiály jsou materiály, které se skládají ze dvou kovových plechů a plastového jádra. Jedná se o složení dvou ocelových plechů o tloušťce 0,2 mm až 1,5 mm a jádrem z plastové desky o tloušťce 0,025 mm až 0,5 mm. Složení záleží na výrobcí sendvičových materiálů. Polymerní jádro dodává materiálu deformační pružnost, tlumení rázů a chvění a krycí ocelové plechy dodávají materiálu pevnost při zachování velmi nízké hmotnosti dílce. Vnější vrstva může být tvořena i hliníkovými plechy. [5]

Sendvičové materiály se začínají využívat stále v hojnějším počtu. Do budoucna by se měla používat i na panelové díly. Dnes se používají jako držáky různých částí karosérie, jak můžeme vidět na Obr. 4. [5]

Jak už napovídá plastové jádro, nepůjde tento materiál snadno svařovat, resp. nejde žádnými známými prostředky. Proto se s tímto materiálem vyvíjejí stále nové trendy ve spojování, jako je lepení nebo clinching. Tyto materiály lze spojovat i nýtovým či šroubovým spojem. [5]



Obr. 4 - použití sendvičového materiálu [5]

### 3. Metody spojování plechů v automobilovém průmyslu

Karoserie se v dnešní době skládá z mnoha částí a z různých materiálů a je velký problém s jejich spojením. Je mnoho metod, kterými automobilky spojují části karosérií a tyto metody se stále rozvíjejí a vynalézají se nové. Základní rozdělení metod pro spojování se dělí na rozebíratelné a nerozebíratelné spojení. Do nerozebíratelných spojů se řadí: svařování tavné, svařování tlakové, pájení, lepení, nýtování, clinching atd. Do rozebíratelných spojů se řadí šroubové spoje.

#### 3.1. Lepení

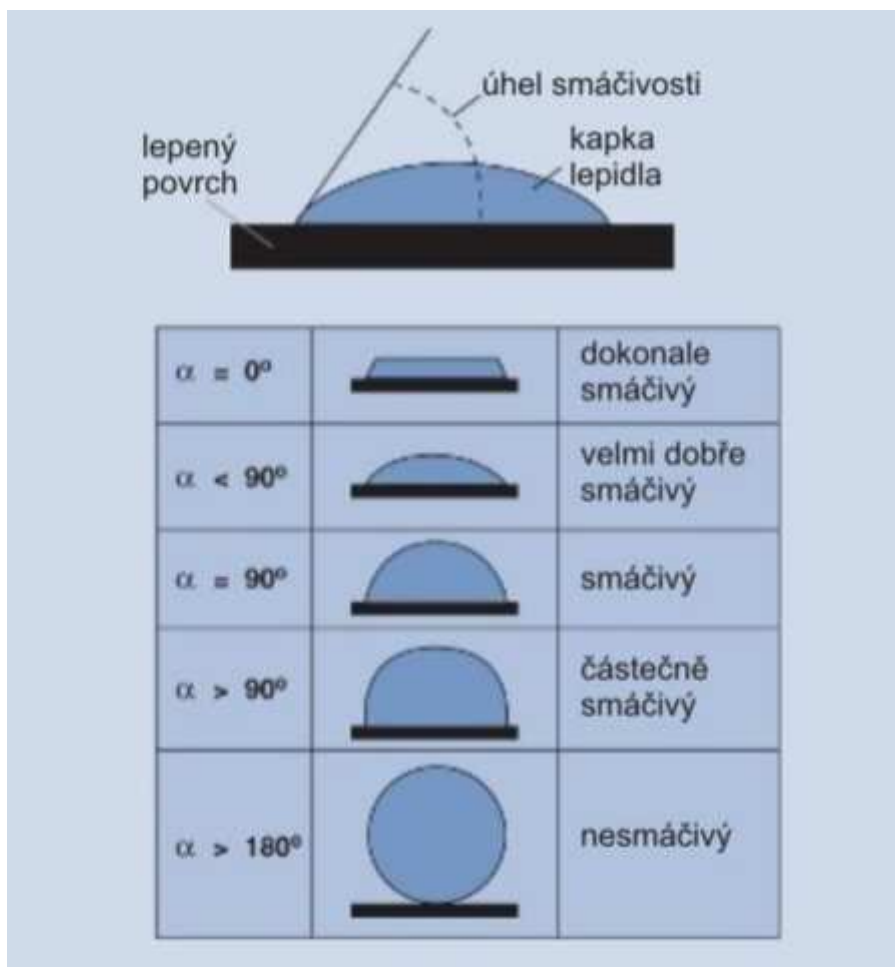
Lepení je proces spojování materiálů (adherentů), při kterém je jako spojovací médium použito lepidlo. Lepidlo můžeme definovat jako látku schopnou vytvořit trvalé spojení mezi dvěma materiály. Výhodou této metody je, že můžeme spojovat stejné i různé materiály, je však důležité zvolit vhodné lepidlo. Existují různé typy lepidel určené pro spojování určených materiálů, jako jsou kov, plasty, dřevo, existují i vícesložková lepidla, která slouží ke spojení obtížně lepitelných materiálů. Lepený spoj se musí navrhovat při konstrukci, kdy konstruktér zvolí vhodný typ materiálu pro lepení, vhodnou aplikaci, aby lepený spoj měl požadovanou pevnost. [6]

V automobilovém průmyslu má lepení velký význam pro svoji efektivnost a ekonomičnost metody. Důležité pojmy v lepení je koheze (soudržnost), adheze (přilnavost) a smáčivost na lepeném povrchu lepidel. [6]

Adheze je jeden ze zásadních parametrů lepení a vyjadřuje únosnost lepeného spoje, respektive přilnavost lepidla k materiálu. U adheze rozdělujeme dva druhy vazeb mezi lepeným spojem a povrchem, mechanické vazby důležité pro pórovitost a chemické vazby důležité pro soudržnost lepených materiálů. Mezi chemické vazby podílejících se na adhezi patří pevnější kovalentní vazby a méně pevné van der Waalsovy síly. Koheze vyjadřuje vnitřní pevnost lepidla, lze ji nazvat také jako soudržnost lepidla. Pevnost lepidla záleží na charakteru lepidla a na tepelném namáhání lepeného spoje. [6] [7]

### **3.1.1. Smáčivost**

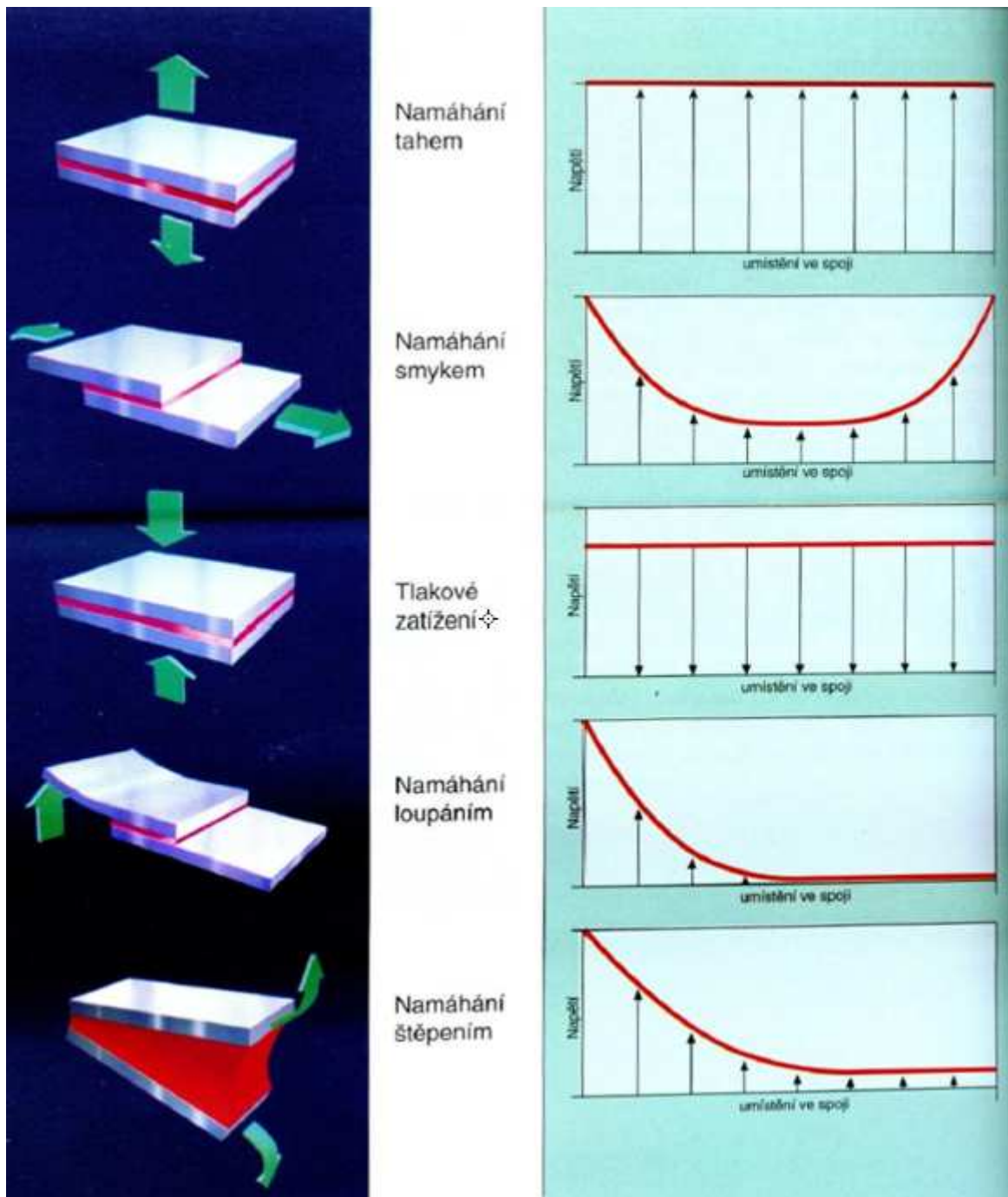
Smáčivost souvisí se schopností lepidla přilnout k povrchu, závisí na povrchovém napětí lepidla a lepeného materiálu. Pokud je povrchové napětí lepidla nižší než povrchové napětí lepeného materiálu, dojde k rozlití lepidla na povrch. Smáčivost se zkouší kapkovou zkouškou, ze které se zjistí úhel smáčivosti. Princip je popsán na Obr. 5. Úhel smáčivosti se měří od lepeného povrchu k tečně kapky. Čím je tento úhel větší, tím je lepený materiál méně smáčivý, lepidlo nemá dostatečné přilnutí k lepenému povrchu a nemá dostatečnou adhezi. Pokud bude tento úhel menší jak  $90^\circ$ , znamená to, že lepidlo velmi dobře přilíná k lepenému povrchu a lepený spoj se bude vyznačovat dobrou pevností. [6] [7]



Obr. 5 - Kapková zkouška lepidla [6]

### 3.1.2. Namáhání lepidel

Lepidla mají největší pevnost na namáhání tahem a nejhorší pro lepený spoj je odtrhávání, to má lepený spoj nejmenší pevnost. Rozdělení namáhání lepidel lze vidět na Obr. 6. Při návrhu konstrukce se musí navrhnout správný tvar lepené plochy. Lepená plocha by měla být co největší a neměla by mít složitý tvar. Nejlepší typ lepeného spoje je přeplátování, kde nedochází k odlupování a dochází zde jen namáhání smykem, kde má lepidlo největší pevnost. [6] [7]



Obr. 6 - Namáhání lepeného spoje [7]

V moderních vozidlech se lepený spoj používá s kombinací samočinného nýtování. Nýtování zmenší mezery mezi spojovanými materiály, dále slouží pro posílení pevnosti spoje a lepidlo plní funkci pevného spojení dvou materiálů i zatěsnění spoje. Tento spoj lze použít pro součásti, které jsou staticky i dynamicky namáhané. Tímto způsobem lze spojovat různorodé materiály, které musí být především slepitelné, a materiály obtížně nebo vůbec svařitelné. [9]



SWOT analýza (Tab. 1) nám říká, že metoda lepení může nahradit v některých případech svařování, ale lepený materiál musí být chemicky odolný proti složení lepidla. Povrchy lepených ploch nesmí být mastné, lepidlo musí být nanášeno za přesně daných podmínek a teploty.

Tab. 1 - SWOT analýza pro metodu lepení

Silné stránky	Slabé stránky
Pro různorodé materiály	Chemické složení
Těsnící schopnost	Úprava lepených ploch
Nedochází k zeslabení spojovaných materiálů	Nižší pevnost oproti metodám svařování
Nedochází k tepelnému ovlivnění okolí spoje	Degradace spoje v čase
	Správně připravený lepený povrch
Příležitosti	Hrozby
Plně nahradit svařování v určitých aplikacích	Správnost použitého lepidla
Kombinace s metodou nýtování	

## 3.2. Nýtování

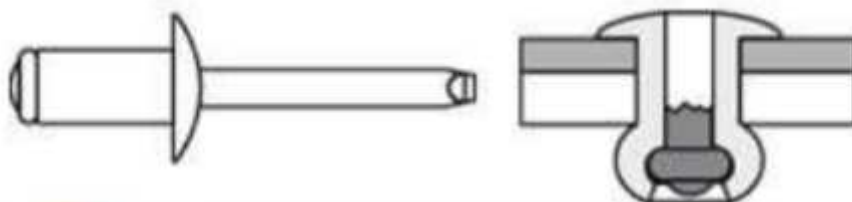
Nýtový spoj se řadí stejně jako lepený spoj do spojení nerozebíratelného. Jedná se o spojení za pomoci přídavného tělesa, nýtu. Spojení je zajištěné tvárnou deformací nýtu. Nýtováním lze spojit kromě stejných materiálů, také různorodé materiály, jako jsou například sendvičové materiály, hliníkové plechy aj. Pro vytvoření nýtovaného spoje je důležité mít předvrtanou díru pro nýt, která oslabuje konstrukci. Nýt zvyšuje hmotnost spojovaných dílů, ale nemění jeho mechanické vlastnosti [3]

### 3.2.1. Nýt

Nýt je mechanická součást, která je určena pro nerozebíratelné spojení různých součástí. Součástmi se rozumí různé plechy nebo staticky namáhané konstrukce. Nejčastěji se používají nýty s vnitřním hrotem, tzv. trhací nýty. V automobilovém průmyslu se pak nejčastěji používají nýtovací matice a nýty pro samočinné nýtování. [3]

#### 3.2.1.1. Trhací nýt

Trhací nýt je nejčastěji používaný nýt napříč všemi konstrukcemi. Jeho princip je velmi jednoduchý. Do nýtovacích kleští se vsune trhací nýt, poté se nasune do připraveného otvoru pro nýtování a pomocí zmáčknutí kleští se vnitřní hrot s roztaženým koncem zmáčkne dovnitř nýtu, tím nýt roztáhne a spojí tak spojované díly. Vlevo na Obr. 7 vidíme trhací nýt, který je v nestaženém stavu. Vpravo pak vidíme snýtované dva plechy pomocí nýtu, který je stažen pomocí nýtovacích kleští a roznýtovaný pomocí zvětšení na konci vnitřního hrotu. [8]

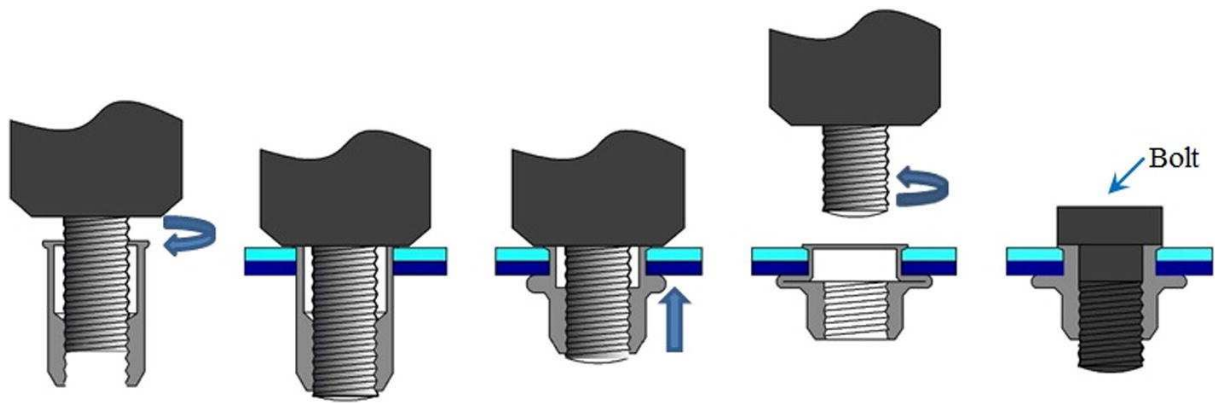


Obr. 7 – Vlevo nový trhací nýt, vpravo snýtované dvě součásti trhacím nýtem [8]

Trhací nýt se používá pro staticky zatížené konstrukce. V automobilovém průmyslu se téměř nevyskytuje, ale na jeho principu jsou založeny ostatní druhy nýtů, jako jsou maticové nýty, které se v automobilismu naopak používají hojně.

#### 3.2.1.1. Maticové nýty

Maticové nýty jsou nýty, které se upevňují do plechu, kdy se do předvrtané nebo vyražené díry (oválné nebo čtvercové) vloží maticový nýt a pomocí nýtovacích kleští se stáhne a vytvoří pevné spojení s plechem. Po vyšroubování nýtovacích kleští vznikne matice pro uchycení dalších komponentů pomocí šroubu. [10]



Obr. 8 - Princip vytváření spojení maticového nýtu [10]

V automobilovém průmyslu se toto používá hlavně na hliníkové plechy, protože je obtížné matice vařit pomocí elektrického proudu, jako je tomu třeba u ocelových plechů s žárovým pozinkem. Spojení je velmi pevné. Při spojení nedochází k ovlivnění vlastností materiálu v okolí spoje. Spoj mezi nýtem a plechem je nerozebíratelný, ale díky závitům v nýtu vznikne rozebíratelný spoj, proto se toto spojení používá tam, kde je zapotřebí rozebíratelnosti. Na Obr. 9 vlevo je znázorněn nýt v původním stavu a vpravo je nýt snýtovaný s hliníkovým plechem. U plechu je vidět deformovaný nýt, který je díky deformaci pevně spojen s plechem, ale závit je neporušen. [9] [10]



Obr. 9 – Porovnání nového a snýtovaného maticového nýtu. Vlevo nový maticový nýt, vpravo snýtovaný maticový nýt v plechové součásti – vlastní foto

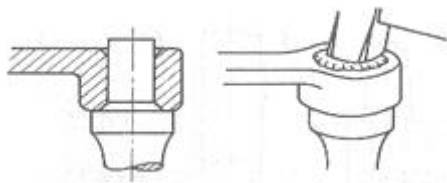
### 3.2.2. Druhy nýtování

Nýtování rozdělujeme na dva základní typy, na přímé nýtování a nepřímé nýtování. Přímé se dnes už nepoužívá, ale nepřímé je stále modernizované a vynalézají se stále nové způsoby této metody. [7]

#### 3.2.2.1. Přímé nýtování

Přímé nýtování je metoda, při které dochází ke spojení dvou součástí po roznýtování jedné součásti ve druhé. Roznýtování se provádí zastudena. Toto nýtování se používá pro méně zatížené spoje a součásti k tomu musí být přizpůsobené. Způsob provedení přímého

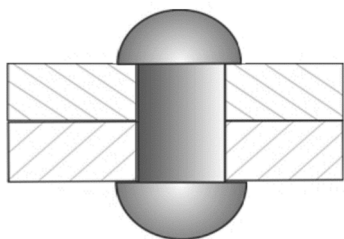
nýtování je znázorněn na Obr. 10, kde je vidět vsunutí jedné součásti do druhé, a poté se pomocí roznýtovacího nástroje, hlavičkáře, součást roznýtuje, a tím dojde k vytvoření spoje. Dnes už tuto metodu v automobilovém průmyslu nenalezneme, protože tato metoda je náročná na přesnost, na druh materiálu součásti a pevnost spoje není dostatečná. [7]



Obr. 10 – Vlevo řez metodou přímého nýtování, vpravo roznýtování vnořené součásti [7]

### 3.2.2.2. Nepřímé nýtování

Nepřímé nýtování je nejčastějším způsobem nýtování, spojování se provádí pomocí přídavného nýtu, který se roznýtuje a tím vytvoří pevný a nepropustný spoj. Na Obr. 11 je znázorněn nýt, který spojuje dva plechy. [7]

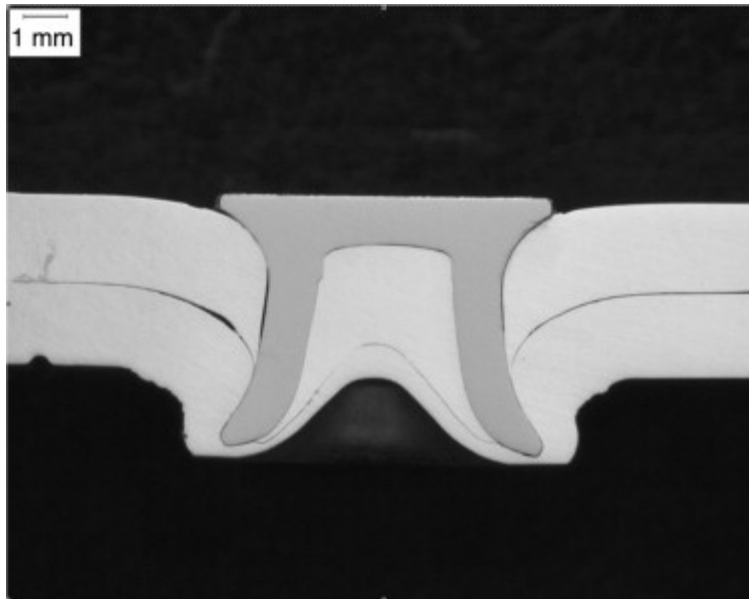


Obr. 11 – Řez nýtem u nepřímého nýtování [7]

### 3.2.3. Samočinné nýtování

Samočinné nýtování se postupně rozšiřuje pro různorodé materiály s vysokou pevností, tažností a nízkou hmotností, které se dají jen obtížně svařovat a v některých případech se nedají svařovat vůbec. Tato metoda, na rozdíl od konvenčního stylu nýtování, nevyžaduje předvrtaný otvor. To přináší velké výhody jak ve snížení montážních nákladů, tak i v zavedení automatizace.

Tento nýtový spoj se vytváří tak, že pomocí lisu se do spojovaných materiálů vtlačuje trubkový nýt, který se po vniknutí do horního plátu roztahuje a vniká do spodního plátu, přičemž neprojde skrz a vytvoří tak mechanické spojení. Pevnost spoje je závislá na mechanické síle, která je mezi rozšířeným dříčkem nýtu a základním spojovaným materiálem. Na Obr. 12 je znázorněn princip samočinného nýtování, během kterého nýt proniká do základního materiálu. Někdy se tato metoda řadí spíše do metody clinching. [8] [9]



*Obr. 12 - Princip samočinného nýtování, řez snýtovanými součástmi [9]*

Na Obr. 13 je vidět přichycení držáku na velký plechový díl pomocí samočinného nýtování. Vlevo vidíme nýt, který spojuje dva komponenty, a vpravo vidíme zadní stranu tohoto spoje, na kterém je patrné, že nýt neprošel skrz oba materiály. Výhodou této metody je, že poloha nýtu není přesně vytyčená předvrtanou dírou, a proto výrobní náklady nejsou tak vysoké jako u konvenční metody nýtování.



*Obr. 13 - Ukázka samočinného nýtování, vlevo pohled od strany nýtovaný, vpravo pohled na snýtovaný součásti z druhé strany – vlastní foto*

Tato metoda je určena pro plechy z hliníkových slitin, ale její velkou nevýhodou je stanovení mezní síly únosnosti spoje. Pokud se jedná o spojení dvou různých materiálů, tak se mezní síla liší u každého spoje, především kvůli propíchnutí vrstvy materiálu, která v každém spoji není stejná. Propíchnutí materiálu má za následek taky další nevýhodu tohoto spojení, při působení dynamického zatížení se toto propíchnutí zvětšuje pomocí mikrotrhlin. I přes

tyto nevýhody některé studie uvádějí, že pevnost v důsledku únavy je na stejné úrovni jako u odporového bodového svařování. [9]

Z analýzy SWOT pro metodu nýtování (Tab. 2) vychází, že spojení je nenáročné, nenarušuje povrchovou úpravu proti korozi. S nástupem samočinného nýtování není za potřebí ani předvrtání otvoru pro nýt. Hrozbou této metody je metoda Clinching, která může v budoucnu nýtování plně nahradit.

Tab. 2 - SWOT analýza pro metodu nýtování

Silné stránky	Slabé stránky
Těsný spoj	U některých druhů nutnost předvrtaného otvoru
Nenáročné spojení	U samočinného nýtování negarantovaná pevnost spoje
Pro špatně svařitelné materiály	Nevhodné pro tvrdé materiály
Nenarušuje povrchovou úpravu proti korozi	
Příležitosti	Hrozby
Automatizace u samočinného nýtování	Nahrazení metodou Clinching
Rozvoj samočinného nýtování	

### 3.3. Clinching

Z důvodu razantně se rozvíjejících nových druhů a vlastností materiálu se musí rozvíjet i nové trendy v metodách spojování těchto materiálů. Clinching se řadí mezi tyto nové trendy. Pod tímto pojmem se rozumí tváření spojů za studena neboli také tzv. metoda „nýtování bez nýtů“. Jedná se o spojování dvou materiálů za pomoci tvarového lisovaného spoje. Lze spojovat různé materiály i o různých tloušťkách. Při spojování nedochází k tepelnému ovlivňování okolí spoje, jako je tomu u svařování. Spoj se rozděluje podle tvaru razníku a matrice – spojení může být kulaté, obdélníkové, s prostřihem nebo bez prostřihu spojovaných kusů plechu. Existují dva základní typy matic, jeden je bez pohyblivých elementů a druhý je s pohyblivými elementy. Při vytváření spoje se vyvíjí tlak na razník a spojovaný materiál je nucen vyplňovat vybrání ve dnu matrice, přičemž se materiál současně roztéká i do stran. Vzhledem k principu metody je nezbytné, aby spojované kusy plechů byly překryty. Vzdálenost překrytí se odvíjí od průměru razníku a tloušťce materiálu. Clinchovaný spoj je charakterizován prolisem na straně razníku a výliskem na straně matrice. Síla potřebná pro vytvoření lisovaného spoje je závislá na tloušťce materiálu, typu spojení a velikosti nástroje. Obvykle se tato síla pohybuje od 10 do 100 kN. [11] [12] [13]

Základní rozdělení clinchingového spoje je na kruhové a obdélníkové. Kruhové se používají zejména tam, kde potřebujeme docílit vodotěsného a vzduchotěsného spoje, protože nedojde k úplnému průniku razníku materiálem, a především pro měkčí materiály. U obdélníkového spoje dochází k proděrování spojovaných materiálů, protože razník má dvě protilehlé strany zaoblené a dvě naostřené tak, aby prořízly spojovaný materiál. Na Obr. 14 je znázorněno vytváření spoje clinchingu. [11] [12] [13]

Jednotlivé fáze tváření klinčovaného spoje

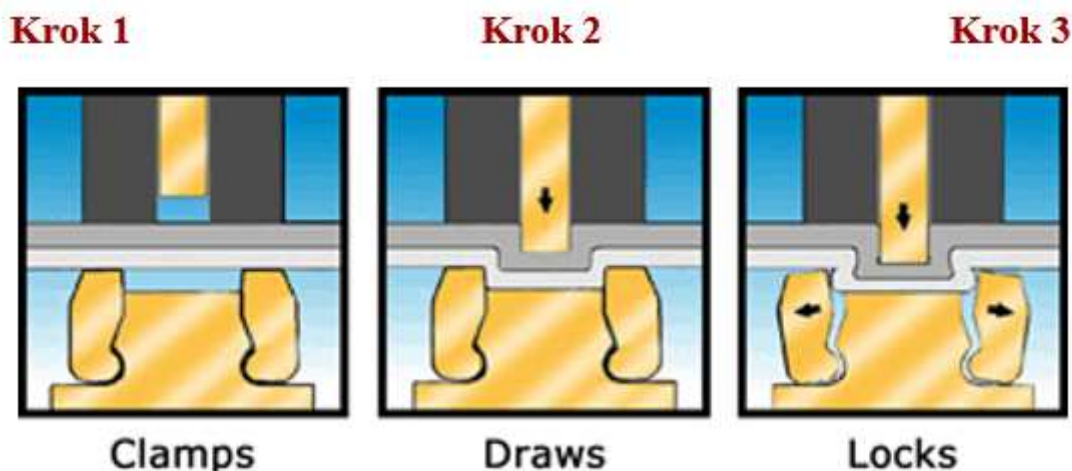


Obr. 14 – Řez postupnými kroky vytváření spojování metodou Clinching [12]

Obr. 15 znázorňuje, jak jednoduchý kulatý razník tlačí spojované materiály do matrice. Při dalším nárůstu síly je materiál na straně razníku nucen ke stranovému zatečení do materiálu na straně matrice. [12]

Postup „klinčování“ se skládá ze tří kroků (Obr. 15). V prvním kroku dojde ke stlačení spojovaných materiálů pomocí razníku. Jakmile jsou plechy upevněny maticí, dojde k posunu razníku kolmo do materiálu a dochází k protlačení razníku materiálem. Matrice má rozevírací kotouče, které se rozšiřují, což spojovaný materiál nutí roztékat do stran a nevytvářejí se dutiny. Výsledný spoj je odolný proti vibracím a korozi, protože byl vytvořen bez použití dalších spojovacích prvků a okolí spoje nebylo tepelně ovlivněno. Jelikož před

samotným prolisováním není potřeba provádět žádnou povrchovou úpravu, stává se tak tento proces velice levnou a rychlou záležitostí. [12]



Obr. 15 - Postup vytváření klinčovaného spoje [12]

Clinching může přinést úsporu až 60% nákladů v porovnání s bodovým svařováním. Velikost spojů se může pohybovat od 1 mm do 26 mm. Díky své čistotě při provádění spoje je tato metoda šetrná k životnímu prostředí a k obsluze. [12] [14]

Nevýhodou této metody je dražší pořizovací cena stroje a nástrojů. Další nevýhodou je požadavek na velmi kvalifikovanou obsluhu z důvodu správnosti nastavení nástroje, aby nedocházelo k vadám spoje.

### 3.3.1. Lisovací stroj pro metodu clinchingu

Metoda Clinching se provádí ve speciálních lisovacích kleštích, které jsou stacionární nebo robotické. Robotické lisovací kleště jsou přizpůsobené pro automatického hydraulického robota, lze tedy tento proces plně automatizovat. [12]

Stacionární lisovací stroj se používá na specializovaném pracovišti. Většinou se používá hydraulický lis s C rámem, a to především na jednoduché spoje a pro méně rozměrné díly materiálů. [12]





*Obr. 16 - Stacionární lisovací stroj tvaru C [12]*

Pro složitější a náročnější operace lisování se používají robotické lisovací kleště, které jsou přizpůsobené pro montáž na automatického hydraulického robota. Ty jsou vhodné pro rozměrné dílce plechů a jejich produktivita je vyšší než u stacionárních lisů, kdy se jednotlivé časy cyklů prodlužují, a to vede k nižší efektivnosti práce. Pro díly enormních rozměrů plechu lze pak použít více hydraulických robotů. Naklápěcí hlavice s lisovacím nástrojem se může naklánět a otáčet ve všech třech osách, proto se dostane i do špatně přístupných míst. Díky tomuto natočení hlavice se razník a matrice můžou nastavit vždy na kolmou polohu ke spojovanému materiálu a docílit tak dokonalého spoje. Firma TOX má ve svém sortimentu i pneumaticko-hydraulické pohony nebo i například elektrické servopohony lisů. [12]



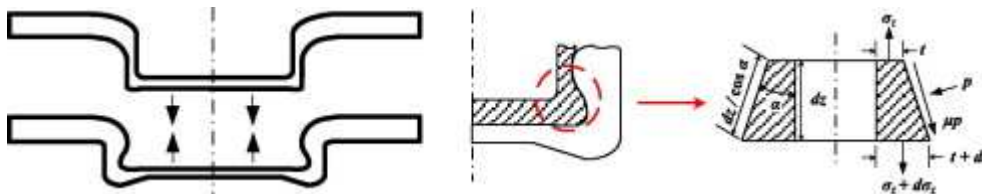
Obr. 17 - Lisovací kleště pro umístění na automatického robota [12]

### 3.3.2. Poruchy spoje clinching

Vzhledem ke geometrii spoje, který je osově souměrný, je ve všech radiálních směrech pevnost spoje stejná. Axiální pevnost u tohoto spojení už je menší než radiální, a proto se doporučuje tento spoj jen na konstrukce namáhané na tah. Nejčastější poruchy tohoto spoje jsou zlomený krček spoje a separace spojených materiálů. [13]

#### 3.3.2.1. Zlomení krčku spoje

Zlomenina krčku klinče je mechanické selhání v nejužším místě spoje. Může k němu dojít při překročení meze pevnosti spoje nebo při špatném postupu při vytváření spoje. Zúžení krčku se odvíjí od hloubky prolisu, jež je daná lisovacím tlakem, který se volí podle typu materiálu a průměru clinchingového nástroje. Tyto údaje udává výrobce nástroje ve svých technických listech. Zlomenina krčku je znázorněna na Obr. 18. [13]

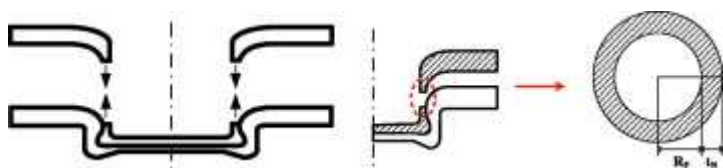


Obr. 18 - Zlomení krčku spoje [13]

#### 3.3.2.2. Separace

Pod pojmem separace se rozumí oddělení horního spojovaného materiálu od dolního v důsledku špatné geometrie spoje (Obr. 19). Geometrie spoje je závislá na tzv. tečení materiálu. Tečení materiálu znamená schopnost materiálu vyplnit matrici a odvíjí se od typu materiálu. Čím je materiál tvrdší, tím je tečení horší, a proto je vhodnější volit materiály s menší tvrdostí. Dalším faktorem může být špatně zvolený nástroj a jeho rádius na konci

raznice nebo špatně zvolená matrice. Z tohoto důvodu je vždy lepší při volbě nástroje oslovit jeho výrobce. [13]



Obr. 19 - Separace spoje [13]

Tab. 3, která popisuje SWOT analýzu pro metodu clinching, říká, že tato metoda se velmi rozvíjí a v budoucnu bude automobilkami hojně používána pro svoji nenáročnost a rychlost a plně nahradí jiné metody.

Tab. 3 - SWOT analýza pro metodu clinching

Silné stránky	Slabé stránky
Nenáročnost metody	Vyšší pořizovací cena
Spojování více druhů materiálů	Poruchy spojení
Bez tepelného ovlivnění	Nevhodné pro tvrdé a netažné materiály
Ekologické a bez odpadního materiálu	
Nezatěžuje konstrukci vlastní hmotností	
Příležitosti	Hrozby
Nahrazení svařování	Kvalifikovaná obsluha pro seřízení stroje a nástroje
Automatizace	

### 3.4. Svařování

Svařování se řadí do nerozebíratelného spojení dvou nebo více dílů. Toto spojení se děje díky dodané tepelné energii (elektrické, mechanické nebo radiační) do místa svaru. Spojení nastane působením meziatomových sil a adhezních vazeb na kontaktních plochách svařovaných materiálů aktivovaných teplem a tlakem. Je mnoho druhů svařovacích metod, které se používají ve všech odvětvích strojírenských oborů. Používá se pro stavbu všech silničních i železničních vozidel, lodí, ocelových konstrukcí, dálkovodů, tlakových nádob, strojů, aj. Svařování zná lidstvo už od dávných dob. Roku 3000 př. n. l. vzniklo tepelné spojování materiálů, jako je pájení zlata, stříbra a mědi. Roku 1000 př. n. l. je datováno spojování kujného železa v ohni. Postupným vývojem metod se kolem roku 1900 vyvinulo svařování plamenem, kolem roku 1920 přišlo svařování elektrickým obloukem a za nedlouho přišlo svařování pod tavidlem a metody WIG (1935), MIG\MAG (1942), třecí (1949), plazmové a elektronovým paprskem (1956), difuzní (1960), laserové (1965). V automobilovém průmyslu se používá nejčastěji svařování elektrickým obloukem, metoda WIG, svařování laserem a metoda MIG/MAG. [15]

SWOT analýza pro metodu svařování (Tab. 4) naznačuje, že i přes nevýhody různých metod svařování zůstane nedílnou součástí výroby automobilů, především pro svoji pevnost a životnost spojení. [15]

Tab. 4 - SWOT analýza pro metodu svařování

Silné stránky	Slabé stránky
Spolehlivost	Výpary
Nejrozšířenější metoda spojování	Kvalifikace pracovníka
Univerzálnost	Není šetrné k životnímu prostředí
Vysoká pevnost spojení	Za potřebí vysokých proudů
	Deformace okolního materiálu
Příležitosti	Hrozby
Rozvíjení metod	Následná povrchová ochrana proti korozi
Zlepšení kvality svarů	Nahrazení metodami bez tepelného ovlivnění
Zlepšení kvality prostředí pracovníků	

### 3.4.1. Metoda WIG

Při svařování metodou WIG, někdy označovanou jako TIG, dochází k hoření oblouku mezi základním materiálem a netavicí se elektrodou v ochranné atmosféře, kterou zajišťuje netečný plyn o vysoké čistotě. Nejčastěji se používá argon, helium nebo jejich směsi. Svařování se provádí s přídavným drátem, který se do svaru přidává ručně nebo automaticky z přidavače drátu proměnnou rychlostí jeho podávání. Díky automatizaci je tato metoda velmi produktivní. [15] [16]

Výhody:

- Efektivní ochranná atmosféra díky inertnímu plynu
- Inertní plyn zabraňuje propalu a vniku strusky
- Nevyžaduje použití tavidla, ale lze ho použít
- Oblouk s vysokou stabilitou
- Široký rozsah svařovacích proudů
- Použití pro různorodé materiály – ocel s mědí atd.
- Jednoduchá obsluha a snadná automatizace
- Svary mají malou tepelně ovlivněnou plochu a minimální deformace
- Přesné dávkování množství tepla do svaru
- Flexibilní oblouk – jeho tvar lze ovládat magnetickým polem.

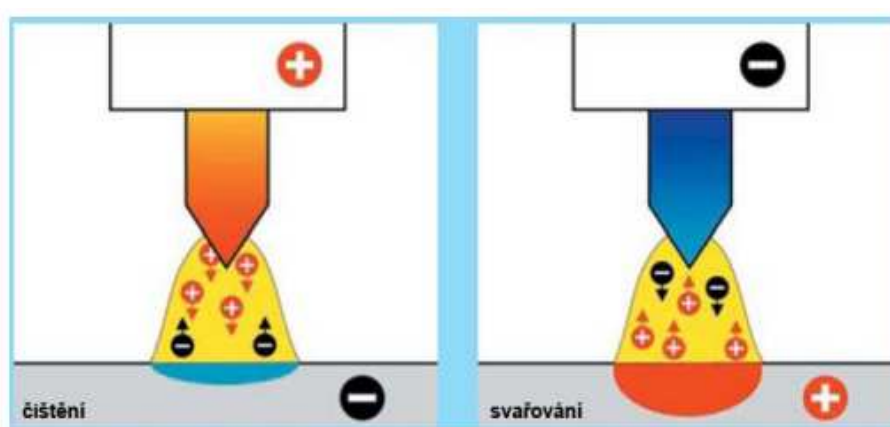
Tuto metodu lze rozdělit podle použitého proudu, kdy svařování střídavým proudem se používá pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem se používá pro středně a vysokolegovanou ocel, nikl, titan, měď, molybden a další. [15] [16]

U metody svařování stejnosměrným proudem se elektroda připojuje na záporný pól zdroje a svařovaný materiál na kladný. To má za následek, že rozdělení tepla je nerovnoměrné, tudíž 1/3 tepla je odvedena elektrodou a 2/3 tepla jsou odvedeny do svařovaného materiálu. Velkou výhodou tohoto rozdělení je, že elektroda není tepelně přetěžována a svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Svařování stejnosměrným proudem ještě lze rozdělit na svařování stejnosměrným proudem se stejnou polaritou nebo s nepřímou polaritou zapojení. [15] [16]

Svařování stejnosměrným proudem se stejnou polaritou se používá pro spojování všech typů ocelí, mědí, niklu, titanu a i hliníku a jeho směsí v ochranné atmosféře argonu a helia (nejméně 75% hélia). Díky vysoké vodivosti hélia se předává do svarové housenky vysoké množství tepla, které umožňuje roztavení i povrchových oxidů, které se vlivem povrchových sil stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně zůstává čistý. [15] [16]

Svařování stejnosměrným proudem s nepřímou polaritou zapojení se nepoužívá z důvodu velkého tepelného zatížení elektrody. U této metody se záporný pól připojí na základní materiál a kladný na elektrodu. [15] [16]

Svařování střídavým proudem se používá pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Používá se pro svůj čistící účinek. Velký problém při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého  $Al_2O_3$ , která zabraňuje další oxidaci a má teplotu tavení 2050 °C, proto je vhodnější tato metoda svařování střídavým proudem oproti metodě se stejnosměrným proudem, jelikož má vyšší teplotu oblouku. Při zapojení elektrody na kladný pól vzniká čistící účinek, během nějž dochází k většímu tepelnému zatížení elektrody. Forma čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony, kdy tyto ionty o vysoké hmotnosti, které jsou urychleny směrem k tavné lázni, působí na oxidy mechanickým účinkem. Tím dochází ke stažení vrstvy oxidů k okraji svarové lázně a tím pádem oxidy zůstávají na povrchu materiálu a ne uvnitř svarové lázně. Pokud zapojíme kladný pól na základní materiál a záporný na svařovací elektrodu, tak docílíme velké hloubky závaru. Na Obr. 20 vidíme způsoby použití dvou režimů pro zapojení střídavého proudu. [15] [16]



Obr. 20 - Použití střídavého proudu u metody WIG [14]

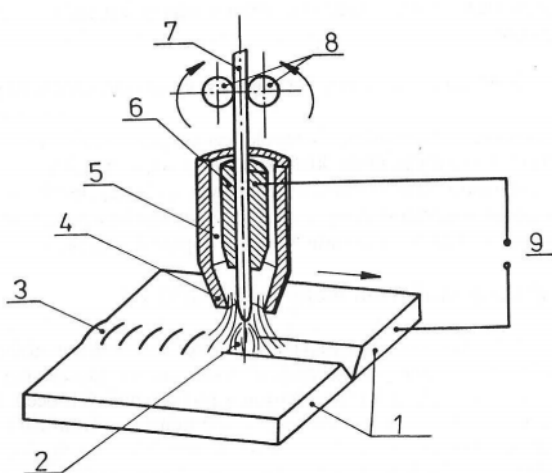
Metoda WIG ve své SWOT analýze (Tab. 5) říká, že metoda bude stále velmi více používána pro možnost spojování hliníkových konstrukcí. V budoucnu však může být nahrazena metodou svařování laserem, která je však doposud finančně náročnější.

Tab. 5 - SWOT analýza pro metodu WIG

Silné stránky	Slabé stránky
Efektivní ochranná atmosféra	Výpary
Široký rozsah svářecích proudů	Vysoké proudy
Malá tepelně ovlivněná plocha	Kvalifikace pracovníků
Příležitosti	Hrozby
Svařování hliníku a jeho slitin	Nahrazování lepidly
Rozvoj technologie	Nahrazení svařování laserem

### 3.4.2. Metoda MAG/MIG

Metoda svařování MAG, se provádí tavící elektrodou v ochranném plynu, kdy se používá aktivní plyn ( $\text{CO}_2$  se směsí inertních plynů nebo směsí kyslíku a argonu). Aktivní plyn ovlivňuje svarovou lázeň. Používá se na svařování nízkolegovaných ocelí. Metoda MIG používá inertní plyn (argon, hélium, nebo směsí argonu a hélia). Inertní plyn nevstupuje do chemické reakce probíhající ve svarové lázni, tohoto se vyžaduje u svařování čistých kovů, slitin hliníku, titanu, hořčíku, mědi a niklu. Metoda je založená na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou (přídavný drát) a základním materiálem. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno přes kontakt v ústí hořáku, popsaném na Obr. 21. [17]



- 1 – Svařovaný materiál
- 2 – Místo svařování
- 3 – Svarová housenka
- 4 – Svařovací hlavice
- 5 – Přívod ochranné atmosféry
- 6 – Vodítka svařovacího drátu
- 7 – Svařovací drát
- 8 – Podavač svařovacího drátu
- 9 – Zdroj

Obr. 21 - Metoda svařování MIG/MAG [16]

Tato metoda je nejvíce rozšířená v celosvětovém měřítku pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Metoda prošla velkou revolucí používání pro její nenáročnost a metodiku použití. Lze ji plně automatizovat. U metod je velký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a různých přídavných komponentů. Metoda MIG získává na důležitosti z důvodu růstu objemu konstrukcí, staveb a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. [17]

Metoda MIG/MAG je velmi používaná ve všech odvětvích průmyslu z důvodu nenáročnosti metody, je finančně méně náročná. Snadno se automatizuje, ale dochází k ovlivnění okolí svarové lázně, a proto se nahrazuje jinými metodami, což nám říká SWOT analýza (Tab. 6).

Tab. 6 - SWOT analýza pro metodu MIG /MAG

Silné stránky	Slabé stránky
Nenáročnost	Ovlivnění okolí svaru
Snadná automatizace	Kvalifikace pracovníků
Pro všechny odvětví průmyslu	Není šetrné k životnímu prostředí
Příležitosti	Hrozby
Rozvíjející se metoda	Svařování laserem
Vývoj pro svařování hliníkových slitin	Svařování metodou WIG

### 3.4.3. Svařování laserem

U moderních aut je stále větší nárok na použité materiály a výrobní zpracování, proto je potřeba používat stále lepší způsoby spojování plechů při stavbě karosérie. Používají se materiály se speciálními fyzikálními vlastnostmi nebo vysokou chemickou a tepelnou odolností, jako jsou vysoká pevnost, odolnost proti korozi, vysoká životnost, spolehlivost, bezpečnost při provozu a nízká váha. Při stavbě karosérie se setkáváme s různými tloušťkami materiálu od fólií až po tlustostěnné profily, pro které už jsou běžné způsoby svařování nedostačující. Proto se vyvíjejí stále nové metody svařování, kdy jejich hlavními požadavky jsou minimální tenzotermické ovlivnění okolí svařovaného materiálu, eliminace vnitřního pnutí a následných deformací. To lze docílit minimálním přívodem tepla do svarového spoje nebo vysokou koncentrací tepelné energie. Nejlepší a dnes velmi se rozšiřující metodou je svařování laserem. Laserový paprsek má vysokou energii dopadajících fotonů a díky optickým elementům ho lze zaostřit na velmi malé místo. Rychlost ohřevu je mnohonásobně vyšší než odvod tepla do okolí a tím je ovlivněna jen malá část okolí svařované plochy. Tato metoda se zavádí také díky snadné automatizaci, kdy laserová svařovací hlava může být umístěna na robotické rameno. [18]

Fyzikálně je laser definován jako kvantový zesilovač světla, který využívá stimulovanou emisi záření zesilovanou v rezistoru. Záření je pomocí optiky zaostřováno do místa užití. [18]

Výhody:

- Malé tepelné namáhání svařované součásti a s tím spojené nízké deformace
- Hladký, symetrický svarový spoj bez porozit
- Vysoká procesní stabilita a rychlost



- Možnost svařování tenkých kovových fólií až po plechy do tloušťky 10 mm
- Snížení výrobních a pořizovacích nákladů
- Vysoká reprodukovatelnost pro sériovou výrobu
- Vysoká kvalita sváru s žádnou nebo minimální nutností následného opracování
- Přesně nastavitelná hustota vnesené energie ve vztahu ke svařovaným materiálům

Laserové svařování automobilky používají také jako pájecí svařování. [18]

SWOT analýza pro metodu svařování laserem (Tab. 7) vypovídá o výhodách této metody, která je finančně dosti náročná na pořízení svařovací techniky. Metoda je však ještě v začátcích, plně se rozvíjí a v budoucnu bude nejpoužívanější metodou, protože oproti jiným má minimální tepelné ovlivnění okolí svaru, svar se vyznačuje vysokou pevností a rychlost svařování je vysoká. Rychlost svařování se může být až 16 m/min při zachování vysoké kvality svaru.

*Tab. 7 - SWOT analýza pro metodu svařování laserem*

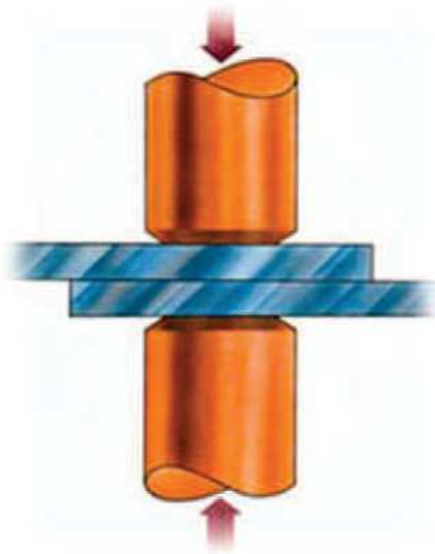
Silné stránky	Slabé stránky
Malé tepelné ovlivnění okolí svaru	Pořizovací cena
Vysoká procesní stabilita a rychlost	Kvalifikace pracovníků
Široká uplatnitelnost	
Momentálně nejmodernější technologie	
Příležitosti	Hrozby
Rozvoj metody jako pájecí svařování	Nýtování
Možnost vařit ve vakuu	Clinching
Automatizace procesů, vysoká produktivita	

### 3.4.4. Odporové svařování

Odporové svařování je metoda, kdy k vytvoření spoje využíváme teplo vznikající průchodem svařovacího proudu přes svařovaný materiál a současně se vyvíjí přítlačná síla. Mezi vztykem dvou materiálů vzniká elektrický odpor, který vytváří teplo a to taví základní materiál. Používá se v kusové i v sériové výrobě. Lze snadno automatizovat, jelikož se svařovací stroj skládá z mechanické (elektrody) a elektrické části (elektrický proud). Vytvořené teplo lze vypočítat ze vztahu (1):

$$Q = I^2 \cdot R \cdot T \text{ [J]} \quad (1)$$

kde I je vstupující proud, R odpor a T je čas, po který probíhá svařování. Odporové svařování se dělí na bodové a švové. Bodové svařování se provádí pomocí dvou menších styčných ploch, jako je znázorněno na Obr. 22, které se k sobě přitlačují a tím vyvíjejí tlak na svařované díly. Elektrický odpor vytvoří svarovou lázeň a tím díly svaří k sobě. Bodové svařování se velmi často používá v automobilovém průmyslu ke svařování kovových plechů. Pro švové svařování se používají elektrody ve tvaru kotoučů, díky nimž se dají zhotovovat průběžné svary různých délek. Tato metoda je velmi produktivní a používá se nejčastěji na svařování trubek. [19]



Obr. 22 - Princip odporového svařování [19]

### 3.4.5. Odporové bodové svařování

Odporové bodové svařování se řadí do tlakového odporového svařování, kdy se spoj vytváří v podobě svarových čoček mezi přepřátovanými dílci. Pro svařování je nutné přivést teplo do místa svaru. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby - tvrdým a měkkým. [19]

Tvrký způsob dodává do svaru teplo pomocí vysokého proudu po krátký čas, proto je tento způsob produktivnější, dochází ke krátkodobému působení tepla v místě svařování a není ovlivněna tak velká plocha okolo svaru. Tím pádem svar rychleji chladne a vzniká jemnozrná struktura svarového kovu, který se vyznačuje větší pevností. Ve svaru vzniká menší napětí a deformace. Dále snižuje spotřebu elektrické energie a svařovacích elektrod. Kvůli velkým proudům musí být v podniku dobrá energetická situace, protože metoda vyžaduje stroj s velkým příkonem a velkými rozměry, proto musí mít vyvažovací a podpěrné zařízení pro snadnější manipulaci. [19]

Měkký režim dodává teplo do svaru pomocí nižšího proudu po delší čas. Díky tomu se nevyžaduje svařovací stroj s tak velkým příkonem a můžou se použít menší průřezy elektrických vodičů. Tento režim je vhodný i pro materiály, které nemají takové dobré vlastnosti pro odporové svařování. Díky delším časům je tato metoda méně produktivní, ve svarových spojích vznikají větší deformace a je doprovázeny hrubozrnou strukturou, která má menší pevnost. [19]

SWOT analýza pro nejrozšířenější metodu odporového svařování shrnuje výhody a nevýhody odporového bodového svařování (Tab. 8), kdy výhodou je především vysoká produktivita, nízká ekonomická náročnost a plná automatizace. Metodu však může brzy nahradit metoda clinching.

Tab. 8 - SWOT analýza pro metodu odporové svařování

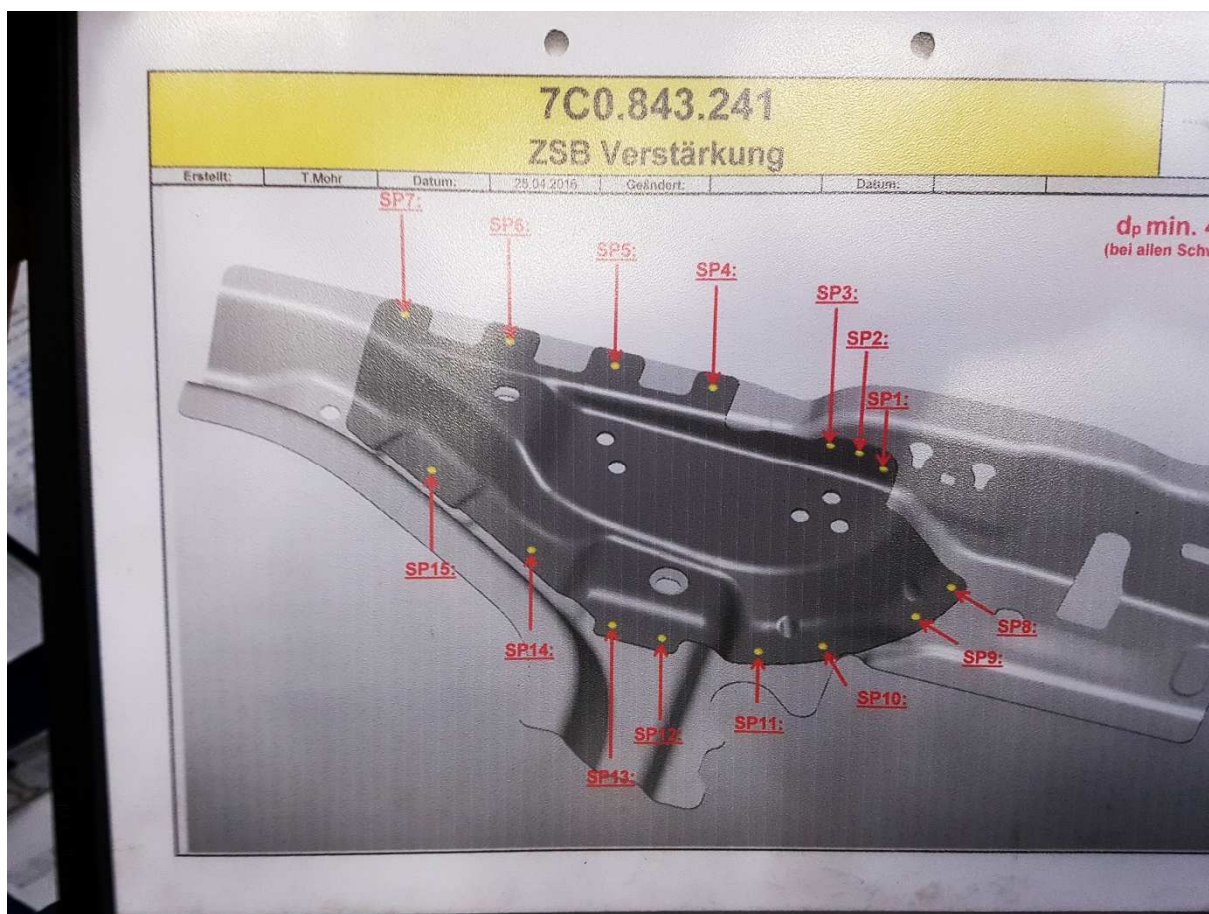
Silné stránky	Slabé stránky
Vysoká produktivita	Pevnost svaru
Malé tepelné ovlivnění okolí svaru	Vysoké proudy
Ekonomický aspekt	
Automatizace	
Příležitosti	Hrozby
Účinnost svařovacího procesu	Nahrazování metodami nýtování nebo clinching
Náhrada ostatních metod na trhu	

## 4. Bodové svařování v praxi

Z důvodu stále nejrozšířenější metody svařování v automobilovém průmyslu, kterou je bodové svařování, jsem se rozhodl, že navštívím firmu PTM s.r.o. zabývající se touto metodou a chtěl bych vám ji více přiblížit.

Firma PTM s.r.o. se zabývá nejrůznějšími výrobky pro automobilový průmysl. Především se zabývá kovovýrobou pro automobily od držáků loketní opěrky, až po sedákové konstrukce. Hlavní výrobu tvoří různé spojování dílů plechů a přivařování uchycovacích šroubů a matic. Používají převážně bodové svařování plechů a odporové svařování matic a šroubů.

K bližšímu seznámení s technologií bodového svařování jsem si vybral jeden z výrobků této firmy. Jedná se o svařenec, který se skládá ze dvou plechů. První, spodní plech, je větší a druhý horní je přes první plech přelátován a nabodován. Oba plechy mají tloušťku materiálu 1,5 mm a oba jsou galvanicky pozinkované. Tento plech je určený pro dveřní rám u posuvných bočních dveří na vozidle Volkswagen Crafter. (Obr. 23)



Obr. 23 - Pozorovaný díl – vlastní foto

Do firmy přivezou už vylisované a galvanicky pozinkované plechy, které se po naskladnění převezou na pracoviště ke svařovacímu automatu. Svařovací automat je od společnost ABB Robot (Obr. 24). Na svém rameni má upevněnou automatickou svařovací hlavici. Svařování se provádí pomocí metody odporového bodového svařování.



*Obr. 24 - ABB svařovací robot – vlastní foto*

Obsluha umístí dílce do přesně určeného místa, k tomu jí pomůžou připravené upínky na pracovním stole stroje (Obr. 25). Tyto upínky jsou jednoúčelové a slouží k uchycení pouze tohoto jednoho výrobku. Držáky jsou pneumatické. Po vložení dílců obsluha tlačítkem vyvolá start stroje, ten uzavře ochranou oponu a pomocí pneumatiky uzamkne všechny držáky výrobku. Tlak v těchto upínkách je 6 bar. Pokud dolehnou všechny upínky, začne svařovací proces.



*Obr. 25 – Upínky – vlastní foto*

Svařovací proces trvá 47 sekund čistého času bez zásahu obsluhy. Svařovací proud se pohybuje od 6,5 do 8 kA. Během svařování se svařovací proud navyšuje z důvodu opotřebovávání proudových špiček. Na Obr. 26 je vlevo znázorněna opotřebovaná špička a vpravo špička nová. Nová špička se opotřebojuje po 15 kusech výrobku, čemuž odpovídá 225 svařených bodů. Tlak svařovacích kleští je 3,4 bar a tento tlak se během svařování nemění.



*Obr. 26 - Proudové špičky, vlevo opotřebovaná po 225 svařených bodech, vpravo nová proudová špička – vlastní foto*

Po každém 15. kusu obsluha musí vyměnit proudové špičky a stroj si automaticky nastaví příslušný proud na počáteční hodnotu, poté si znovu proud přidává podle opotřebování čepiček. Obsluha každý patnáctý díl odnese na trhací zkoušku, kde se ověří, zda svařovací proces odpovídá požadovaným normám.

## Trhací zkouška

Trhací zkouška se provádí na odborném pracovišti. Nejprve odborný pracovník oddělí nepotřebný materiál z horního plechu pomocí plazmové řezačky. Zbýlý plech okolo bodového svaru pracovník odtrhne, aby zůstal samotný bodový svar. Na Obr. 27 je vidět základní plech s bodovými svary.



*Obr. 27 - Příprava pro měření bodového svaru – vlastní foto*

Dále odborný pracovník změří průměr bodu pomocí posuvky (Obr. 28). Měří každý bod zvlášť ve dvou směrech, s tím že tento rozměr nesmí být menší než  $D_1 = 4,3$  mm. Rozměr  $D_1$  je průměr bodu v jednom a druhém směru a menší z těchto rozměrů nesmí být menší než 4,3 mm.



*Obr. 28 - Měření bodového svaru posuvným měřidlem – vlastní foto*

Dvakrát až třikrát za směnu se provádí na vybraném kusu velká zkouška svarů, pro kterou je normou předepsaný přesný postup pro měření bodového stroje.

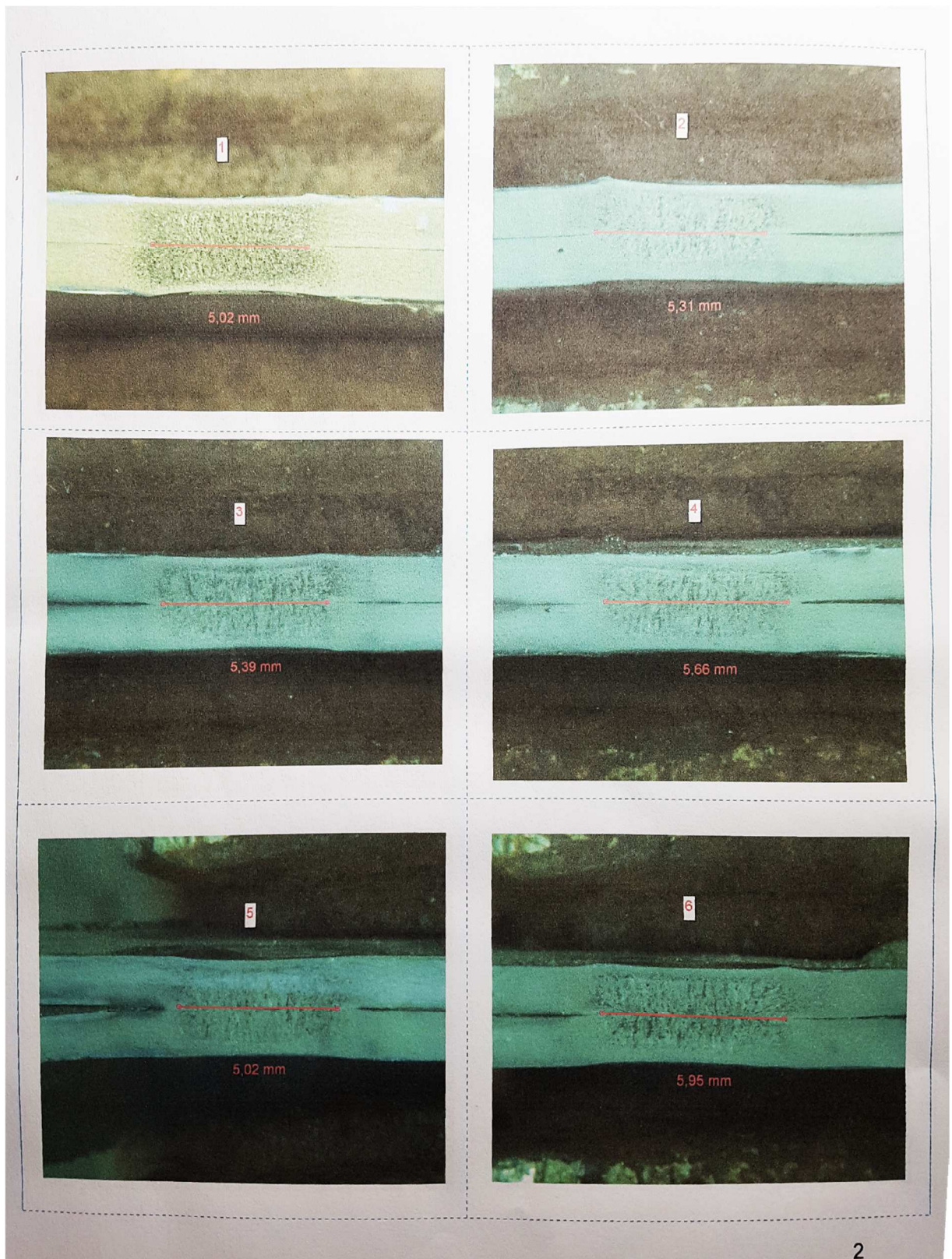
V normě je přesně předepsáno pro jaké díly a spoje je zkouška určená, pro jaké spoje a jak se mají měřit. Normu pro zkoušení předepsal výrobce automobilů Volkswagen, pro kterého jsou tyto díly dodávány.

Na Obr. 29 je úvodní strana normy pro zkoušení bodových svarů pro tento výrobek. V normě je popsán i postup, jakým měřící zkouška byla provedena, všechny ostatní zkoušky musí být provedeny a zaznamenány stejným způsobem. Píše se zde: „K vyhodnocení bylo použito makrovybrušování a leptání 5 % kyselinou dusičnou -  $\text{NH}_4\text{OH}$ , pak pod mikroskopem při pozorování v dopadajícím světle při zvětšení 6.7 a vyfotografováno. Svarový šev byl digitálně změřen prostřednictvím DHS Bildvermessungsmodulu.“ Na Obr. 30 jsou pak podrobně znázorněny rozměry bodu.



3.5_FB_0010 Ver.0/30.7.2017	<b>Metalografický nález</b>	
Klasifikace: interní	<i>Metallographische Untersuchung</i>	
Zkušební protokol č./Prüfbericht Nr.:		266/17
Číslo dílu/Označení dílu – <i>Artikelnummer/Kennzeichnung:</i>	ZSB Verstaerkung 7C0 843 241	
Změnový stav - Änderungs- stand:	26.08.2016 index 4	
Výkres číslo – <i>Zeichnungsnummer:</i>	7C0 843 241 7C0 843 242	
<b>Proces (skupina) –</b> <i>Prozess (Produktgruppe):</i>	Punktschweißen	
Norma - Prüfnorm:	VW 01105-1	
Složení dílu – <i>Materialaufbau:</i>	7C0 843 243/244 o.Z CR240 LA-GI40/40-U-O DIN EN 10143 1,5 mm 7C0 843 524/523 o.Z CR240 LA-GI40/40-U-O DIN EN 10143 1,5 mm	
Datum produkce – <i>Produktionsdatum:</i>	02.10.2017 – 22:00	
<i>Poznámky k metodě zkoušení – Bemerkungen zur Prüfmethode:</i>		
<p>K vyhodnocení bylo použito makrovybroušení a leptáním 5 % kyselinou dusičnou – HNO<sub>3</sub> pak pod mikroskopem při pozorování v dopadajícím světle při zvětšení 6.7 a vyfotografováno. Svarový šev byl digitálně změřen prostřednictvím DHS Bildvermessungsmodulu.</p> <p>Zur Auswertung wurden die Makroschliffe nach entsprechender Präparation, Atzung mit 5% Salpetersäure HNO<sub>3</sub>, unter einem Auflichtmikroskop bei 6.7 facher Vergrößerung fotografiert. Die Vermessung der jew. Schweissnaht erfolgte digital mittels DHS Bildvermessungsmodul.</p>		
		
1		

Obr. 29 - Zkušební protokol – vlastní foto



Obr. 30 - Ukázka velikostí bodových svarů na dílci – vlastní foto

Měření, které jsem pozoroval, proběhlo v pořádku a všechny měřené body byly v normě. Podle mnou zjištěných informací měření na opakujícím se díle je po prvotním seřízení stroje především kontrolní. Nestává se, aby svařovací stroj změnil svařovací parametry a svařování neprobíhalo podle přednastavených parametrů. Obsluha tento program nemůže nijak ovlivnit, takže zapříčinění chyby lidským faktorem není v tomto případě možné. Proto se provádí jen kontrolní měření, kdyby došlo k mechanické poruše stroje.

## 5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shromáždit poznatky a podklady o perspektivních metodách spojování plechů v automobilovém průmyslu. Automobilový průmysl je jeden z nejrychleji se vyvíjejících průmyslů, neustále vyvíjí nové trendy a technologie pro zpracování kovů. Technologie spojování se vyvíjejí především proto, aby se docílilo při zachování požadovaných mechanických vlastností co nejkratších časů na operaci, nízkých nákladů na spoj, a především musejí být šetrné k životnímu prostředí. Tyto rozhodující faktory nejde však jednoduše spojit, proto v práci byly metody spojování shrnuty. U každé hodnocené metody pro dané spojení byly uvedeny výhody a nevýhody pomocí SWOT analýzy, které mohou pomoci při rozhodování při výběru správné metody. V práci bylo také popsáno pozorování odporového bodového svařování v praxi, popsán postup spojení dvou plechů s povrchovou ochranou a následná zkouška měření svařených bodů podle normy předepsané výrobcem automobilů Volkswagen. Všechny svařené body na pozorovaném svařenci vyhovovaly normě a celá vyrobená série byla v pořádku. Jak z praktického pozorování, tak i z literárních poznatků je patrné, že svařovací procesy mají velký dopad na životní prostředí kvůli vznikajícím spalinám při vytváření spoje. Jejich výhoda je však ve vysoké pevnosti spoje. Odporové bodové svařování je dnes nejrozšířenější metodou, která není příliš finančně náročná. Lze bodově svařovat materiály, které jsou ochráněny galvanickým zinkováním, což u ostatních metod svařování nelze. Spojování plechů s povrchovou ochranou je problémové pro většinu metod svařování, proto se vyvíjí i jiné druhy spojování, kdy ke spojení nedochází za tepla, ale za studena, jako jsou metody clinching nebo samočinné nýtování. Tyto metody se vyvíjejí raketovým tempem, vytvoření spoje těmito metodami je velmi rychlé a k životnímu prostředí jsou šetrnější, protože nevzniká žádný odpad ani spaliny. Tyto metody mají menší pevnost než svarové spoje, proto jimi nelze nahradit svařování, ale jejich použití je velmi široké a mohou spojovat i různorodé materiály. Mezi uvedenými procesy spojování vidím jako nejvíce perspektivní metodu svařování laserem a lepení. Metoda svařování laserem je velmi produktivní díky snadné automatizaci. Svarová lázeň tak tepelně nezatěžuje okolí svaru jako jiné metody. Vytváření svarové housenky je velmi rychlé, rychlost může být poměrně vysoká (např. 16 m/min) a přitom je velmi kvalitní. Dle SWOT analýzy je patrné, že metoda svařování laserem nemá žádné hrozby, proto je pro budoucnost automobilového průmyslu klíčová. Oproti tomu spojování materiálů pomocí lepidel je více komplikovanější, ale v dnešní době robotů se i tato metoda automatizovala a nanášení lepidel je tedy účinné a rychlé. U lepidel je ale nebezpečí degradace v čase, proto se nepoužívají na nosné prvky karoserie. Používají se tam, kde je zapotřebí těsný spoj, jako například spojení výztuh kapoty nebo střechy, dále na lemový spoj panelových dílů apod. Technologie lepení se velmi rychle vyvíjí a je velmi perspektivní. Automobilky se vyvíjejí pro přesně danou aplikaci, protože je nutné brát v potaz celou řadu okolností, které ovlivňují nejenom přilnavost lepidel, ale i celkovou pevnost spoje. Proto se tyto spoje musí testovat v náročných laboratorních zkouškách za různého namáhání, teplot i korozní zátěže. Technologie lepení je i přes svou technickou a finanční náročnost podle mého názoru nejvýznamnější pro budoucnost spojování v automobilovém průmyslu.

## 6. Zdroje

- [1] VLK, F. *Stavba motorových vozidel*. 2003. ISBN 80-238-5757-2
- [2] PECÁK, R.: Nové Audi A6 přijde na trh na jaře, 01/2012, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/nove-audi-a6-prijde-na-trh-na-jaře/r~i:gallery:17592/>>
- [3] DAVIES, G. *Materials for Automobile Bodies*, Butterworth-Heinemann, 2003, ISBN 0-7506-5692-1
- [4] MACHUTA, J.: Výrobky z hliníkové pěny, MM Průmyslové spektrum, 12/2007, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobky-z-hlinikove-peny.html>>
- [5] PILVOUSEK, T., ŠANOVEC, J.: Lehké konstrukce automobilů - sendvičové materiály, MM Průmyslové spektrum, 06/2016, [online, citováno 12.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-automobilu-sendvicove-materialy.html>>
- [6] BROŽEK, M.: *Základy strojírenské technologie, Návody na cvičení*, Skriptum ČZU, Nakladatelství ČZU, Praha, 2000. 164 s. ISBN 80-213-0724-2.
- [7] ZACHARIÁŠ, L.: *Části strojů*, Skriptum ČZU, Nakladatelství ČZU, Praha, 2007. 436 s. ISBN 978-80-213-1622-5.
- [8] SUN, X. Optimization of the strength of self-piercing rivets (SPRs). In: *Self-piercing riveting*. 2014. p. 149-170.
- [9] LIU, Y. et al. Single-sided piercing riveting for adhesive bonding in vehicle body assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 2013, 32.3: 498-504
- [10] YOO, S.-Y, et al. The structural analysis and strength evaluation of the rivet nut joint for composite repair. *Composite Structures*, 2016, 136: 662-668
- [11] ŠANOVEC, J.: Moderní způsoby spojování dílů karoserií, MM Průmyslové spektrum, 10/2012, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-zpusoby-spojovani-dilu-karoserii.html>>
- [12] TOX PRESSOTECHNIK, výrobce strojů a nástrojů pro metodu Clinching, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://cz.tox-pressotechnik.com/>>
- [13] MORI, K.; ABE, Y.; KATO, T. Mechanism of superiority of fatigue strength for aluminium alloy sheets joined by mechanical clinching and self-pierce riveting. *Journal of Materials Processing Technology*, 2012, 212.9: 1900-1905.

- [14] KVAPIL, L.: Materiálově a energeticky nenáročné spojování, MM Průmyslové spektrum, 02/2015, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/materialove-a-energeticky-nenarocne-spojovani.html>>
- [15] Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení (Učební texty pro kurzy IWE, IWT). Ostrava, 2001. .395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [16] MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování, Zeross Ostrava, 1998
- [17] HETO, J.: Pórovitost svarů oceli svařovaných metodou MIG/MAG, MM Průmyslové spektrum, 02/2016, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/porovitost-svaru-oceli-svarovanych-metodou-mig-mag.html>>
- [18] MRŇA, L.: Laserové technologie v průmyslové praxi, MM Průmyslové spektrum, 02/2018, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologie-v-prumyslove-praxi.html>>
- [19] SCHINKMANN, specialista na odporové svařování, [online, citováno 10.3.2018]. Dostupné: <<https://www.schinkmann.cz/>>

## 7. Seznam obrázků

Obr. 1 - Použití různých materiálů u samonosné karoserie [2] .....	3
Obr. 2 – Řez součástí z kovové pěny [4].....	4
Obr. 3 - Tvarové profily vyplněné hliníkovou pěnou METCOMB [4].....	4
Obr. 4 - použití sendvičového materiálu [5].....	5
Obr. 5 - Kapková zkouška lepidla [6].....	7
Obr. 6 - Namáhání lepeného spoje [7].....	8
Obr. 7 – Vlevo nový trhací nýt, vpravo snýtované dvě součásti trhacím nýtem [8] .....	10
Obr. 8 - Princip vytváření spojení maticového nýtu [10].....	11
Obr. 9 – Porovnání nového a snýtovaného maticového nýt. Vlevo nový maticový nýt, vpravo snýtovaný maticový nýt v plechové součásti – vlastní foto .....	11
Obr. 10 – Vlevo řez metodou přímého nýtování, vpravo roznýtování vnořené součásti [7] ...	12
Obr. 11 – Řez nýtem u nepřímého nýtování [7].....	12
Obr. 12 - Princip samočinného nýtování, řež snýtovanými součástmi [9].....	13
Obr. 13 - Ukázka samočinného nýtování, vlevo pohled od strany nýtovaný, vpravo pohled na snýtovaný součásti z druhé strany – vlastní foto .....	13
Obr. 14 – Řez postupnými kroky vytváření spojování metodou Clinching [12] .....	15
Obr. 15 - Postup vytváření klinčovaného spoje [12].....	16
Obr. 16 - Stacionární lisovací stroj tvaru C [12] .....	17
Obr. 17 - Lisovací kleště pro umístění na automatického robota [12] .....	18
Obr. 18 - Zlomení krčku spoje [13].....	18
Obr. 19 - Separace spoje [13].....	19
Obr. 20 - Použití střídavého proudu u metody WIG [14].....	22
Obr. 21 - Metoda svařování MIG/MAG [16].....	23
Obr. 22 - Princip odporového svařování [19].....	26
Obr. 23 - Pozorovaný díl – vlastní foto .....	28
Obr. 24 - ABB svařovací robot – vlastní foto .....	29
Obr. 25 – Upínky – vlastní foto.....	30
Obr. 26 - Proudové špičky, vlevo opotřebená po 225 svařených bodech, vpravo nová proudová špička – vlastní foto.....	30
Obr. 27 - Příprava pro měření bodového svaru – vlastní foto .....	31

Obr. 28 - Měření bodového svaru posuvným měřidlem – vlastní foto .....	31
Obr. 29 - Zkušební protokol – vlastní foto .....	33
Obr. 30 - Ukázka velikostí bodových svarů na dílci – vlastní foto .....	34

## **8. Seznam tabulek**

Tab. 1 - SWOT analýza pro metodu lepení .....	9
Tab. 2 - SWOT analýza pro metodu nýtování .....	14
Tab. 3 - SWOT analýza pro metodu clinching .....	19
Tab. 4 - SWOT analýza pro metodu svařování .....	20
Tab. 5 - SWOT analýza pro metodu WIG .....	22
Tab. 6 - SWOT analýza pro metodu MIG /MAG .....	24
Tab. 7 - SWOT analýza pro metodu svařování laserem .....	25
Tab. 8 - SWOT analýza pro metodu odporové svařování .....	27

## **9. Seznam vzorců**

Vzorec 1 – Joule - Lenzový zákon .....	26
--	----